Lectron

Braun Lectron

Elektronische Experimente mit magnetischen Bausteinen

Experimentieranleitung für das Grundsystem (S) und die Ausbausysteme 1 (S) und 2 (M)

Lectron

Braun Lectron

Elektronische Experimente mit magnetischen Bausteinen

Experimentieranleitung für das Grundsystem (S) und die Ausbausysteme 1 (S) und 2 (M)

Lectron

Braun Lectron
Elektronische Experimente
mit magnetischen Bausteinen

Weltraumeroberung, Computer, Fernsteuerung, Transistoren, Datenverarbeitung, Fernsehfunk rund um den Erdball. Die Elektronik ist zum Bestandteil unseres Lebens geworden. Fernsehprogramme werden durch Nachrichtensatelliten über Kontinente getragen, durch Überseekabel ist das nicht möglich. Warum?
Hochkomplizierte elektronische Rechenmaschinen lösen in Minuten Aufgaben, an denen ein Stab von Mathematikern Wochen arbeiten müßte. Wie geht das?
Auf dem Fließband abgepackte Güter werden durch Lichtschranken automatisch gezählt. Automation — auch ein Begriff, mit dem wir leben müssen und besser leben können als frühere Generationen.
Die Elektronik nimmt uns Arbeit ab. Sie bewältigt Aufgaben, die der Mensch bisher überhaupt nicht oder nur mit großem Zeitaufwand lösen konnte. In einer automatisch gesteuerten Walzstraße eines Hüttenwerks befreit sie Unzählige von schwerer körperlicher Arbeit.
Der Flugverkehr mit Düsenklippern wäre undenkbar ohne Elektronik. Für Piloten großer Verkehrsflugzeuge sind Navigation, Radar, Funkpeilung, Wetterbeobachtung und vieles mehr so wichtig wie für uns die Scheinwerfer eines Autos, das uns sicher durch die nächtlichen Straßen bringen soll.
Wie funktioniert das alles?
Eine Antwort geben die Experimente dieses Buches, die nach und nach in das große Gebiet der interessantesten und am weitesten verzweigten Technik hineinführen. In diesem Experimentierbuch finden Sie insgesamt 90 eingehend beschriebene Versuche.
Um zu zeigen, was Elektronik ist, beginnen wir mit dem Aufbau von 20 Versuchen, deren Wirkungsweise vorerst noch nicht voll erfaßt werden muß. Sie sind der Ausgangspunkt für die ausgeklügeltsten Schaltungen (seien es Funktionen des Fernsehapparates, eines Tonbandspielers oder irgendeines anderen elektronischen Gerätes).

Das Einmalige an LECTRON ist das unkomplizierte System: Keine Drähte, keine Klammern, kein Lötkolben, kein Schraubenzieher stören oder verzögern den Versuch. Ihre ganze Aufmerksamkeit können Sie dem eigentlichen Experiment widmen. Die einzelnen Bausteine haften magnetisch aneinander und stellen dadurch über Neusilberplättchen den elektrischen Kontakt her. Die Bauelemente liegen geschützt in glasklaren Kunststoffgehäusen. Die Oberfläche jedes Bausteins zeigt das genormte Schaltsymbol des darin enthaltenen Bauelements. Jeder Versuch wird in diesem Experimentierbuch durch einen Schaltplan dargestellt, nach dem die Bausteine zusammenzusetzen sind. Die Oberflächen der Bausteine geben das Schaltbild wieder.
Doch nun bauen wir unseren ersten Versuch — unsere erste elektrische Schaltung — selbst auf!

Verzeichnis der Versuche

Grundsystem Elektronik I

Versuch		Seite
1	Blinklicht-Schaltung mit Anzeige des Hellimpulses	9
2	Elektrische Lichtmessung	11
3	Elektrische Dunkelsteuerung	13
4	Blinklicht-Schaltung mit Anzeige des Dunkelimpulses	15
5	Elektrische Temperaturmessung	17
6	Umkehrung der Temperaturmessung	19
7	Blinklicht-Schaltung mit veränderter Blinkzeit	21
8	Beeinflussung der Blinkzeit durch Licht	23
9	Beeinflussung der Blinkzeit durch Temperatur	25
10	Ein elektronischer Wärmewächter (Feueralarm)	27
11	Elektronische Steuerung durch Licht	29
12	Messung des Steuervorgangs bei Lichtänderung	31
13	Messung des Steuervorgangs bei Temperaturänderung	33
14	Ein empfindlicher Temperaturmesser (Thermometer)	35
15	Lichtschranke	37
16	Dämmerungsschalter	39
17	Nachweis der Leitfähigkeit des menschlichen Körpers	41
18	Speicherung der elektrischen Energie	43
19	Automatische Helligkeitssteuerung	45
20	Automatische Dunkelsteuerung	47
21	Die Wirkung des elektrischen Stromes in einer Glühlampe	51
22	Einfluß eines zusätzlichen Widerstandes im Stromkreis	53
23	Einfluß eines größeren Widerstandes im Stromkreis	55

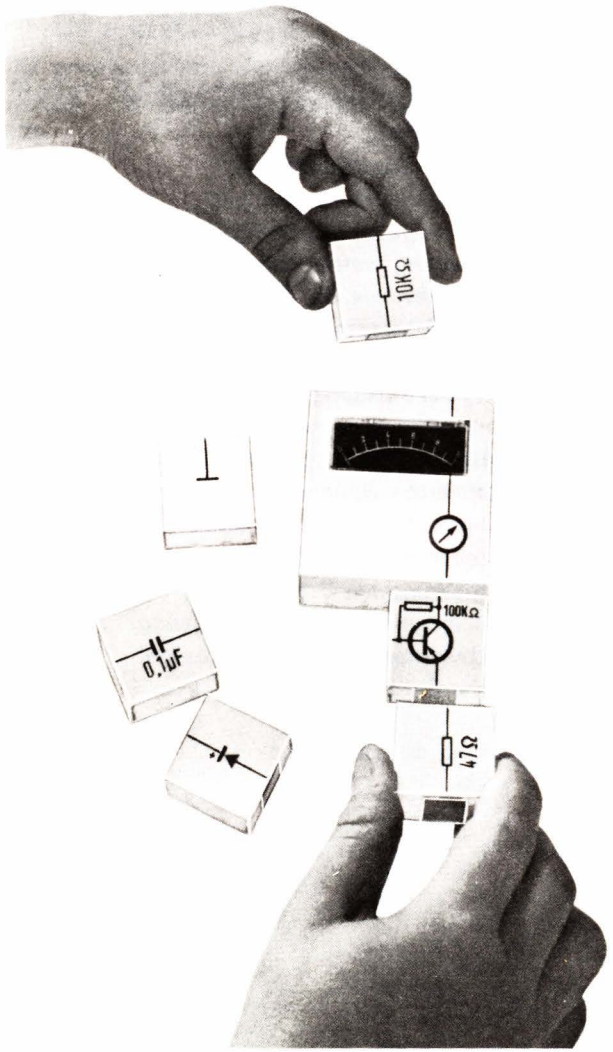
Ausbausystem 1 „Elektronik II und Rundfunktechnik“

Versuch		Seite
24	Die Anzeige des elektrischen Stromes durch ein Meßinstrument	57
25	Die Belastung der Batterie durch einen Widerstand	59
26	Der Einfluß des Vorwiderstandes auf den Ausschlag des Instrumentes	61
27	Nachweis der Gleichmäßigkeit des Stromes im gesamten Stromkreis	63
28	Die Wirkung eines Parallelwiderstandes zum Instrument	65
29	Ein Spannungsteiler aus Festwiderständen	67
30	Ein stetig regelbarer Spannungsteiler	69
31	Das Verhalten eines Kondensators im Gleichstromkreis	71
32	Nachweis der Energiespeicherung mit einem Kondensator	73
33	Der Aufladestrom bei einem Kondensator	75
34	Der Entladestrom bei einem Kondensator	77
35	Das Verhalten einer Spule im Gleichstromkreis	79
36	Der Durchlaßstrom bei einer Halbleiterdiode	81
37	Die Sperrwirkung einer Halbleiterdiode	83
38	Nachweis der Steuerbarkeit eines Transistors	85
39	Der Lautsprecher als elektroakustischer Wandler	89
40	Ein einstufiger Plattenspieler-Verstärker	91
41	Ein zweistufiger Plattenspieler-Verstärker mit regelbarer Lautstärke	93
42	Ein einfacher Tongenerator	95
43	Die Wirkung einer Wechselspannung beim Anzeigeinstrument	97
44	Gleichrichtung einer Wechselspannung mit der Diode	99
45	Einfluß der Kapazität eines Kondensators im Wechselstromkreis	101

Ausbausystem 2
Elektronik III

Versuch		Seite
46	Frequenzabhängigkeit des Wechselstromwiderstandes beim Kondensator	103
47	Das Anzeigeinstrument als Aussteuerungsanzeiger beim Plattenspieler-Verstärker	105
48	Ein nicht abgestimmter Rundfunkempfänger	109
49	Ein abgestimmter Rundfunkempfänger	113
50	Ein abgestimmter Rundfunkempfänger mit doppelter Ausnutzung eines Transistors	115
51	Spannungsverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung	119
52	Stromverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung	121
53	Spannungsverstärkung eines Transistors in Kollektorschaltung	123
54	Stromverstärkung eines Transistors in Kollektorschaltung	125
55	Grundschaltung eines Schmitt-Triggers	127
56	Ein Schmitt-Trigger mit Verstärkerstufe	129
57	Der Schmitt-Trigger als Zeitgeber	131
58	Ein einfacher Belichtungszeitgeber	133
59	Die Arbeitsweise eines Photowiderstandes	135
60	Die Arbeitsweise eines Heißleiters	137
61	Der Photowiderstand als Steuerglied in einem Schmitt-Trigger	139
62	Ein einfacher Dämmerungsschalter	141
63	Eine Regelschaltung für Temperaturen	143
64	Nachweis der Leitfähigkeit von Wasser	145
65	Der Schmitt-Trigger als Feuchtigkeitsanzeiger	147
66	Ein astabiler Multivibrator als Blinkanlage	149
67	Ein astabiler Multivibrator als elektronischer Taktgeber (Metronom)	151
68	Ein astabiler Multivibrator als Tongenerator	153
69	Der bistabile Multivibrator	155
70	Der monostabile Multivibrator	157
71	Der monostabile Multivibrator mit umgekehrter Arbeitsweise	159
72	Grundversuch zur Hochspannungserzeugung	161
73	Anzeige von Hochspannungsimpulsen mit der Glimmlampe	163
74	Ein elektronisches Weidezaungerät	165
75	Ein Spannungswandler mit Transistor	167
76	Anschluß des Meßinstrumentes an den Spannungswandler	169
77	Messung einer gleichgerichteten Hochspannung	171
78	Betrieb einer Glimmlampe mit hoher Wechselspannung	173
79	Betrieb einer Glimmlampe mit gleichgerichteter Hochspannung	175
80	Die Glimmlampe als Spannungskonstanthalter	177
81	Grundschaltung eines Elektronenblitzgerätes	179
82	Die Wirkungsweise der Zenerdiode	181
83	Spannungskonstanthalter mit Zenerdiode und Transistoren	183
84	Regelung der Ausgangsspannung bei einem transitorisierten Spannungskonstanthalter	185
85	Nachweis der Belastungsunabhängigkeit eines transitorisierten Spannungskonstanthalters	187
86	Relaissteuerung mit Arbeitskontakt	189
87	Relaissteuerung mit Ruhekontakt	191
88	Relaissteuerung mit Selbsthaltung	193
89	Ein Schallpegelmesser (Phonmessung)	195
90	Geräuschwarnanlage mit Lichtanzeige (Einbruchs-Sicherung)	197
90 a-d	Prüfung der Bausteine	199

Aufbau und System des Experimentierkastens



Elektrische Schaltungen bestehen immer aus mehreren, manchmal sehr vielen Einzelteilen, die untereinander elektrisch verbunden werden müssen. In der Praxis benötigt man dazu Kabel oder Drähte, die — entsprechend der Lage der Einzelteile — jeweils auf eine bestimmte Länge zugeschnitten werden müssen. Die Verbindung erfolgt dann meist durch Verlöten der Punkte, an denen die Anschlüsse der Bauteile und die Leitungen zusammengeführt sind. Bei Versuchsaufbauten im Laboratorium stellt man die Verbindungen im allgemeinen durch Prüfschnüre her, die an die Bauteile durch Stecker oder Klemmen herangeführt werden. Auch bei einem Experimentierkasten, der ein kleines Elektrolabor darstellt, könnte man mit solchen Prüfschnüren oder zugeschnittenen Drahtstücken arbeiten. Leider verliert man aber bei dieser Methode, besonders wenn es sich um umfangreichere Schaltungen handelt, schnell die Übersicht. Man erhält ein Gewirr aus langen und kurzen Leitungen, zwischen denen die Bauelemente liegen, und kann die Funktion der Schaltung dann nur noch mit Mühe erkennen.

Das vorliegende, durch Weltpatente geschützte, BRAUN-LECTRON-System vermeidet diese Nachteile. Verbindungskabel oder Drähte sind hier nicht mehr notwendig. Die einzelnen Bausteine werden einfach nebeneinandergereiht. Dabei werden sie durch Magnetkraft mechanisch festgehalten und erhalten gleichzeitig elektrischen Kontakt über „Kontaktplättchen" an den Seitenflächen. Für den Aufbau einer Schaltung aus diesen Bausteinen ist daher auch kein Werkzeug oder handwerkliches Geschick erforderlich. Die Abbildung zeigt, wie die Bausteine aneinandergelegt werden.

Im Innern des Kästchens ist jeweils ein Einzelteil — z. B. ein Widerstand oder ein Kondensator — an die Kontaktplättchen angelötet. Durch das Zusammenlegen werden also die elektrischen Bauteile miteinander verbunden. Die Bausteine haben nur an den Stellen Magnete und Kontaktplättchen, wo die Bauteile angeschlossen sind. Zusätzlich zu den Anschlüssen an den Seitenflächen hat jeder Baustein noch einen (oder, wenn es sich um einen größeren Baustein handelt, mehrere) Magnete und Kontaktplättchen an der Bodenfläche. Als Grundlage für die durchzuführenden Versuche dient beim LECTRON-Experimentiersystem eine Metallplatte. Legt man einen Baustein mit der Bodenfläche auf die Grundplatte, dann haftet er dort durch Magnetkraft. Damit bildet die Grundplatte gewissermaßen das „Gerüst" für alle Versuchsschaltungen. Gleichzeitig verbindet sie alle Bauteile, deren Anschluß an das in der Bodenfläche des Bausteins angeordnete Kontaktplättchen geführt ist. Auch beim industriellen Rundfunk- oder Fernsehgerät und den meisten elektronischen Apparaten kennt man eine solche metallische Montagefläche, das sogenannte Chassis. Da die Bausteine durch die Magnetkraft fest auf der Grundplatte haften, kann man die fertige Schaltung auch schräg oder sogar senkrecht aufstellen, ohne daß die Teile auseinanderfallen. Damit besonders schwere Bausteine (Lautsprecher, Batterie usw.) beim Schräg- oder Senkrechtstellen an der Grundplatte gut festgehalten werden, tragen sie an der Bodenfläche extra starke Haftmagnete.

Da das Gehäuse der Bausteine aus durchsichtigem Material besteht, kann man die darin eingebauten Einzelteile sehen. Auf der weißen, undurchsichtigen Deckplatte eines jeden Bausteins ist das Schaltbild des eingebauten Teils aufgedruckt. In den Schaltplänen wird nicht die tatsächliche Form des Bauelementes gezeichnet, sondern man benutzt Schaltzeichen (Schaltsymbole), die genormt und daher von jedem Fachmann zu lesen sind. Das Schaltsymbol ist auf der Deckplatte so aufgedruckt, daß beim Zusammenbau gleichzeitig die richtigen Stromläufe zu erkennen sind. Der fertige Versuchsaufbau zeigt dann originalgetreu auf den Deckplatten der Bausteine wieder das Schaltbild, das im Anleitungsbuch zu sehen

ist. Man kann daher jeden möglichen Fehler durch Vergleich mit dem Originalschaltbild im Buch sofort feststellen und beseitigen. Dadurch, daß sich die Bausteine so leicht aneinanderreihen oder wieder trennen lassen, kann man bei der fertigen Schaltung durch Entfernen des einen oder anderen Bauteils oder Ersatz gegen ein anderes erkennen, welche Funktion dieses Teil hat und wie sein elektrischer Wert die Schaltung beeinflußt.

Mit Ausnahme des Batteriebausteins sind bei allen Bausteinen die Deckel mit den Gehäusen fest verklebt. Nur die Batterie muß nach einiger Zeit ausgetauscht werden. Deshalb ist bei diesem Baustein der Deckel aufgesteckt. Hinweise zum Austausch der Batterie findet man auf Seite 49 des Buches im Abschnitt „Der Batteriebaustein".

Das Grundsystem (S)
Elektronik I

soll zunächst einmal einige der zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten zeigen, die elektronische Bauelemente bieten. Rundfunk- und Fernsehempfänger sind wohl jedem bekannt. Mit dem Grundbaukasten erhält man aber auch einen Einblick, was es sonst noch auf dem interessanten Gebiet der Elektronik gibt. Die folgenden 20 Versuche, die mit den Bausteinen des Grundkastens durchgeführt werden können, werden in ihrer Funktion noch nicht erklärt, sondern es wird nur beschrieben, was die einzelnen Schaltungen leisten können. Wer dann die Wirkungsweise der einzelnen Bauteile und Schaltungen genauer ergründen möchte, der kann mit zusätzlichen Bausteinen der Aufbaukästen 1 und 2 eine große Anzahl weiterer Versuche machen. Das Anleitungsbuch für Grundkasten und Aufbaukästen 1 und 2 zeigt Schritt für Schritt, wie die in den Bausteinen angeordneten Teile arbeiten und warum sie in einer Schaltung eine ganz bestimmte Wirkung ergeben. Dabei lernt man gleichzeitig die wichtigsten Begriffe der Elektronik wie Strom, Spannung, Widerstand usw. kennen.

Grundsystem S enthält außerdem die Aufgabe- und Antwortkarten Elektrizitätslehre I, die heute in zahlreichen Schulen im Physikunterricht verwendet werden.

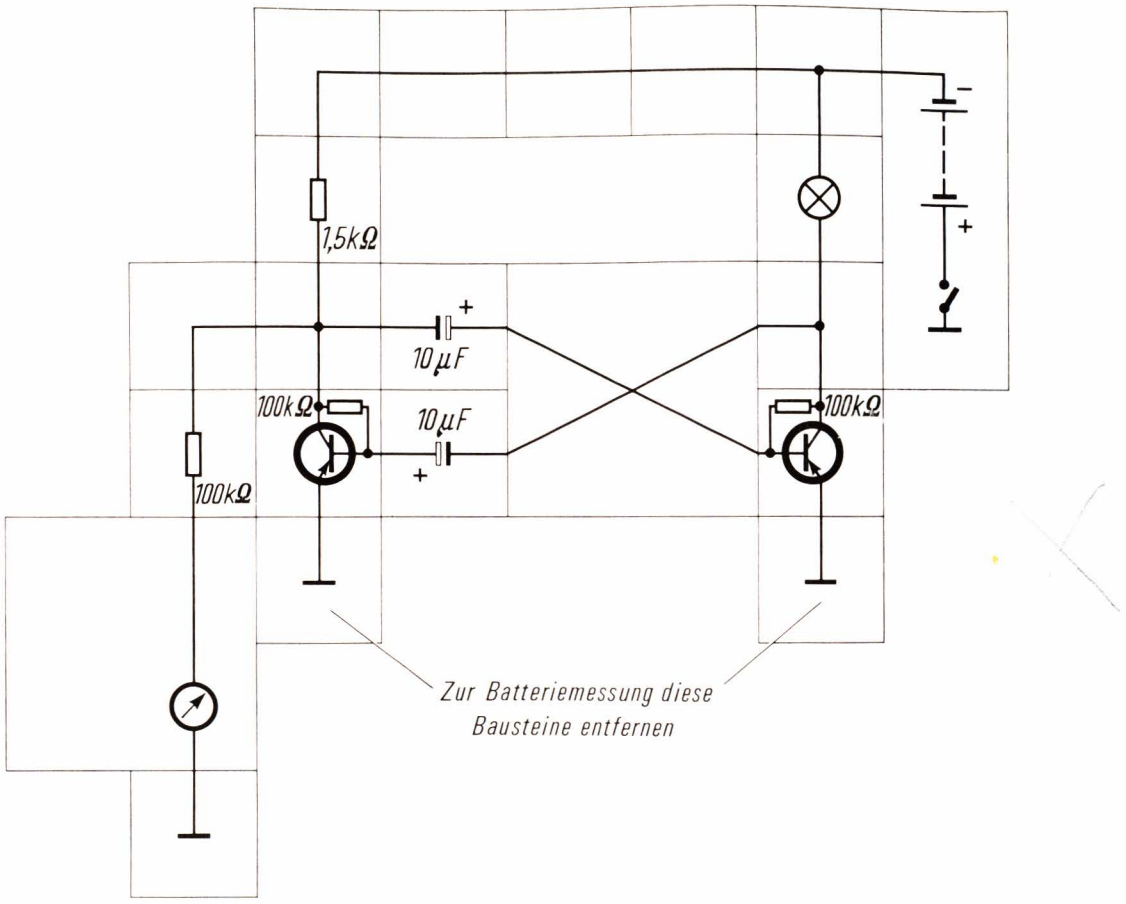
Diese von Pädagogen erarbeitete Kartei enthält detaillierte Informatonen über die Grundlagen der Elektrik.

Blinklicht-Schaltung mit Anzeige des Hellimpulses

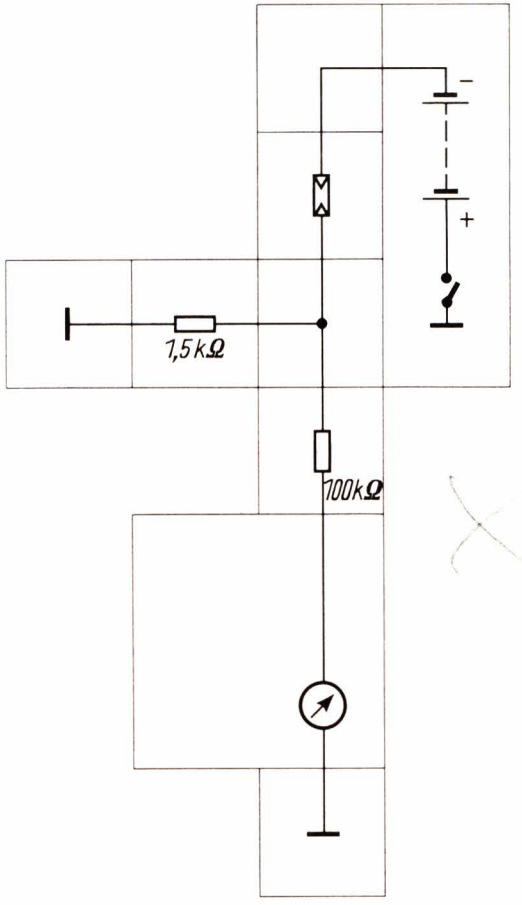
Die Schaltung für diesen Versuch stellt eine Blinkanlage dar. Ist die Batterie im Batteriebaustein eingesetzt, dann wird die im Glühlampenbaustein eingebaute Lampe selbsttätig in gleichmäßiger Folge aufleuchten und verlöschen, sobald man den Batteriebaustein ansetzt. Solche Blinkschaltungen werden sehr häufig verwendet. Man kann sie zum Beispiel als Blinkanlage für die Richtungsanzeige bei einem Kraftfahrzeug einsetzen.

Diese Schaltung enthält ein hochwertiges Meßinstrument. Der Zeiger schlägt jedesmal aus, wenn die Glühlampe aufleuchtet.

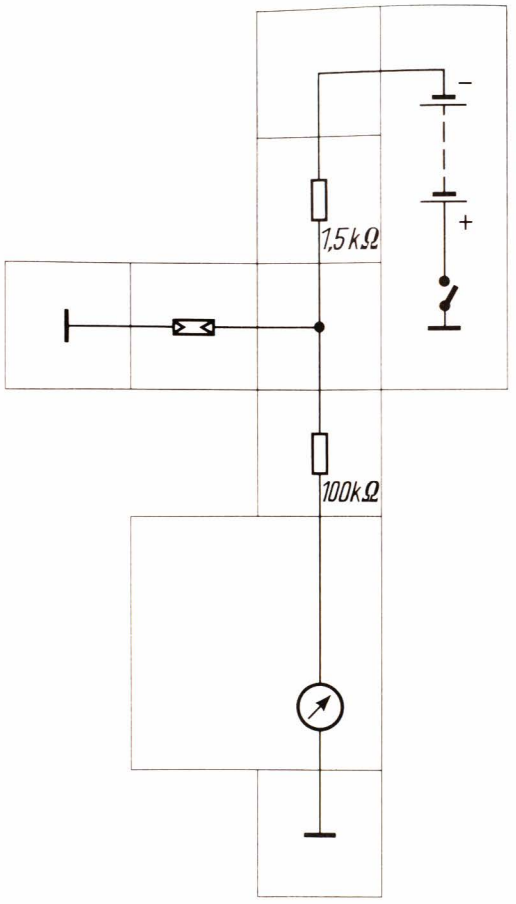
Mit der gleichen Versuchsschaltung läßt sich außerdem auch prüfen, ob die Batterie frisch ist. Man muß hierzu nur die bezeichneten beiden Bausteine entfernen. Der Zeiger des Meßinstrumentes schlägt dann bei eingeschalteter Batterie konstant bis etwa zur Ziffer 9 aus. Das bedeutet, daß die Batterie die volle Spannung von 9 Volt hat. Zeigt er weniger als 7 an, dann ist die Batterie verbraucht.



Bei diesem Versuch lernt man die grundsätzliche Schaltung eines elektrischen Belichtungsmessers kennen, wie er für photographische Zwecke benutzt wird. Man benötigt dazu einen sogenannten Photowiderstand. Je mehr Licht durch das Loch im Deckel dieses Bausteins auf den Photowiderstand trifft, um so weiter schlägt der Zeiger des Meßinstrumentes aus. Hält man das Loch mit dem Finger zu, dann geht der Zeigerausschlag zurück.

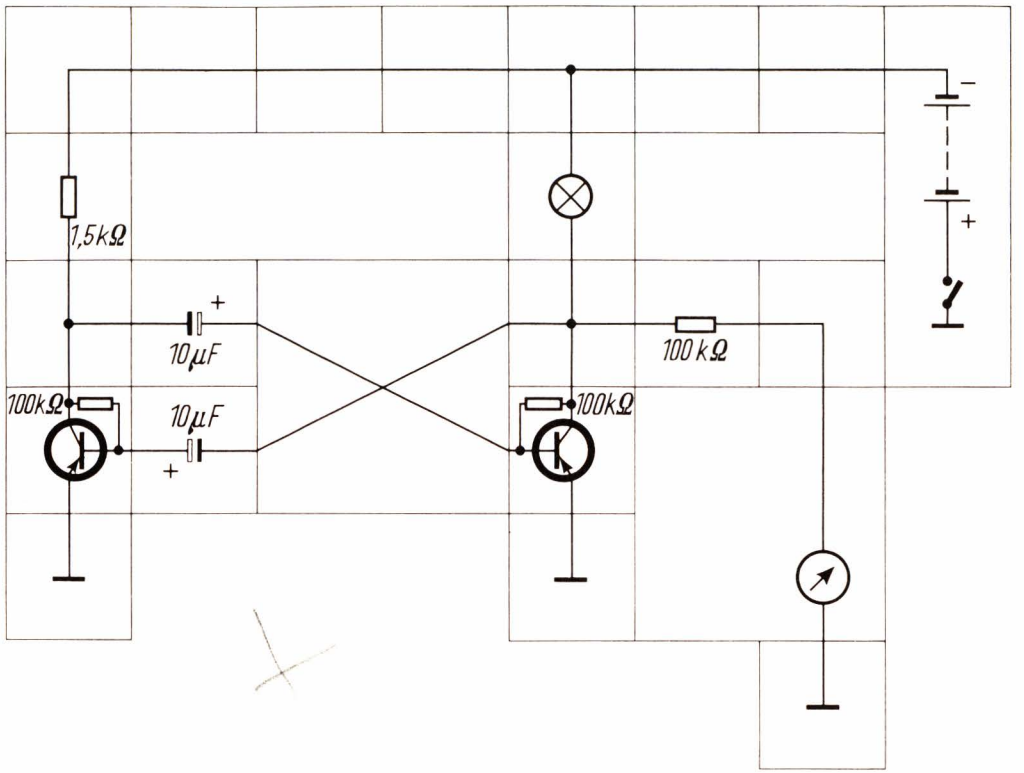


Hier läßt sich die Wirkungsweise einer Schaltung umkehren, wenn man die Bausteine anders als beim letzten Versuch anordnet. Der Ausschlag des Zeigers am Instrument wird jetzt größer, wenn man das Loch im Deckel des Bausteins mit dem Photowiderstand abdeckt.

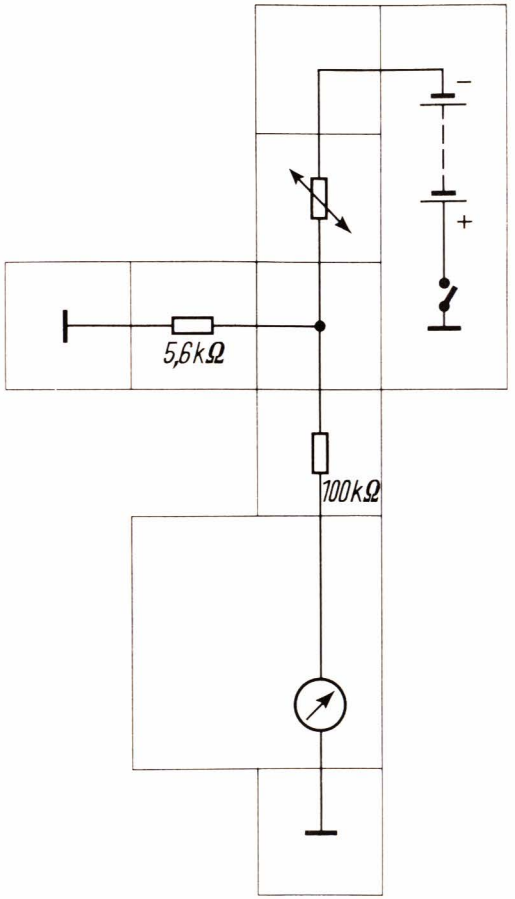


Blinklicht-Schaltung mit Anzeige des Dunkelimpulses

Bei diesem Versuch ist gegenüber dem Versuch 1 das Meßinstrument an einer anderen Stelle angeschlossen. Im Gegensatz zu der ersten Schaltung schlägt es jetzt bei eingeschalteter Batterie immer dann aus wenn die Glühlampe verlischt. So, wie es hier an einem einfachen Beispiel gezeigt wird, lassen sich in elektronischen Schaltungen viele Vorgänge umkehren.

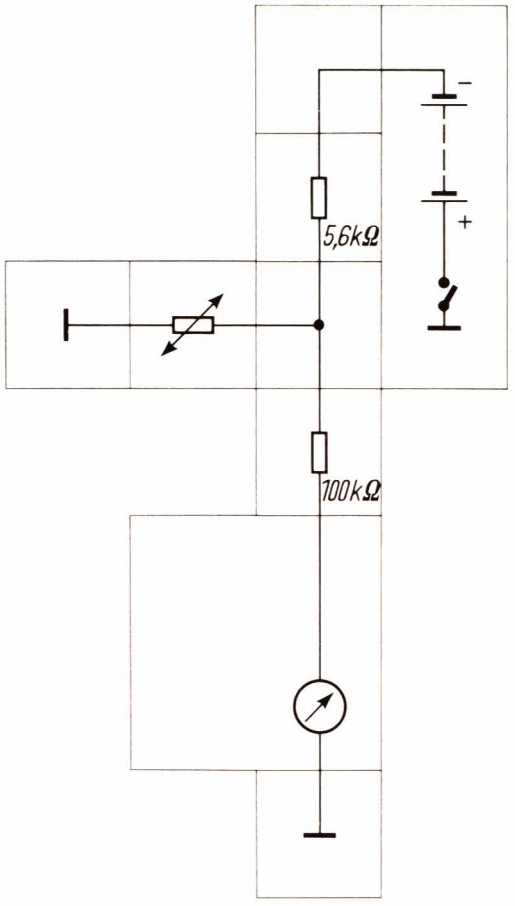


Diese Schaltung enthält einen Baustein mit einem „Heißleiter". Das ist ein Bauteil, das seine Eigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur ändert. Bei fertig aufgebauter Schaltung und eingeschalteter Batterie erkennt man am Meßinstrument eine deutliche Zunahme des Zeigerausschlages, wenn man den Heißleiter erwärmt — beispielsweise schon durch Berühren mit dem Finger. Kühlt sich der Heißleiter wieder ab, dann geht auch der Zeigerausschlag zurück.



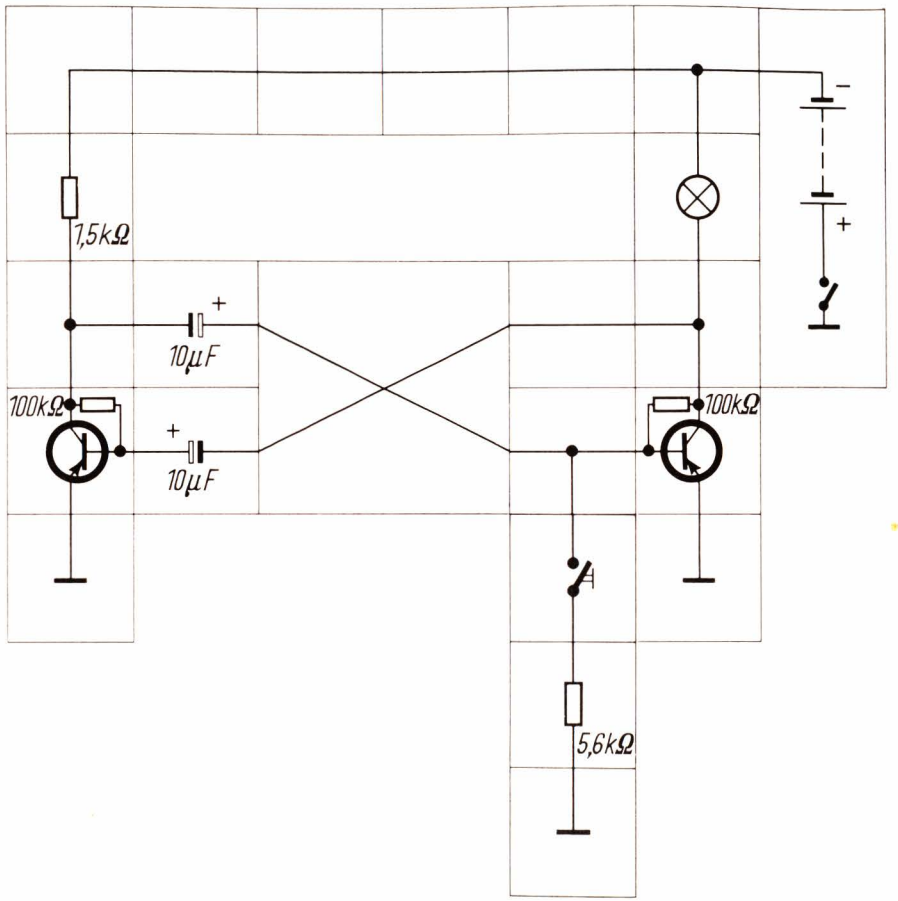
Umkehrung der Temperaturmessung

Durch Vertauschen von zwei Bausteinen erzielt man hier die umgekehrte Wirkung wie beim vorhergehenden Versuch. Der Zeigerausschlag des Meßinstrumentes geht zurück, wenn man den Heißleiter erwärmt, und steigt wieder bei dessen Abkühlung.



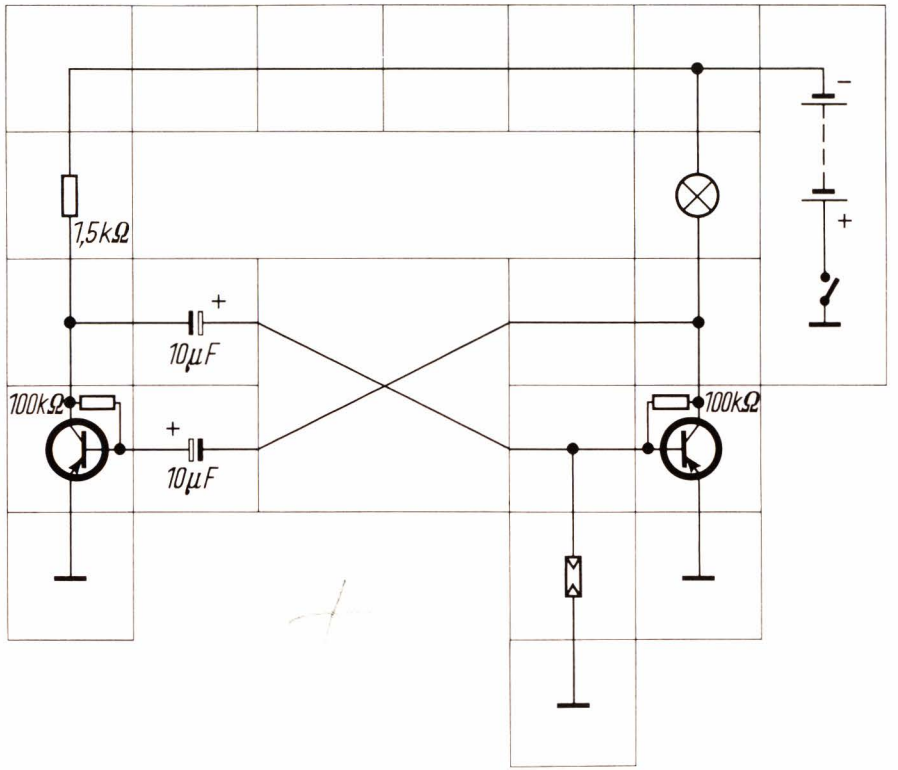
Blinklicht-Schaltung mit veränderter Blinkzeit

Hier handelt es sich wieder um eine Blinkschaltung, wie wir sie bereits in den ersten beiden Versuchen aufgebaut haben. Das Anzeigeinstrument wird diesmal nicht mit verwendet. Bei der neuen Schaltung läßt sich aber die Blinkgeschwindigkeit verändern, wenn man über den Tastenschalter einen zusätzlichen Widerstand einschaltet. Bei eingeschalteter Batterie blinkt die Glühlampe zunächst wieder in gleichmäßiger Folge. Drückt man die Taste nieder, dann wird der Vorgang wesentlich schneller.



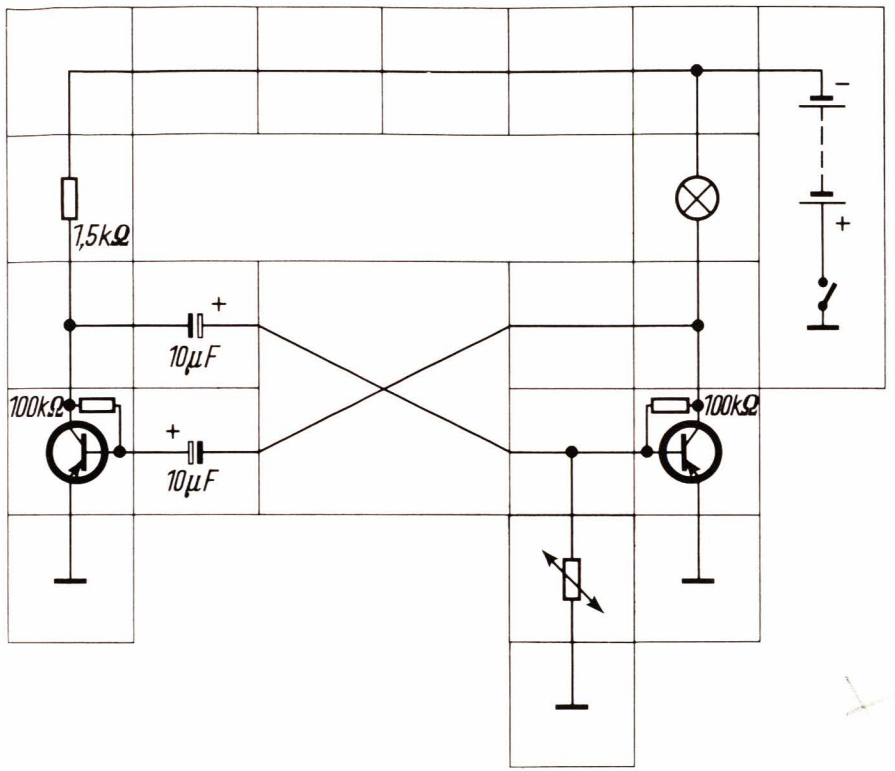
Beeinflussung der Blinkzeit durch Licht

Auch mit dem Photowiderstand kann man die Geschwindigkeit der aufeinanderfolgenden Lichtblitze beeinflussen. Deckt man in dieser Versuchsschaltung den Photowiderstand ab, dann wird die Blitzfolge langsamer. Beleuchtet man ihn, dann nimmt die Geschwindigkeit entsprechend zu.



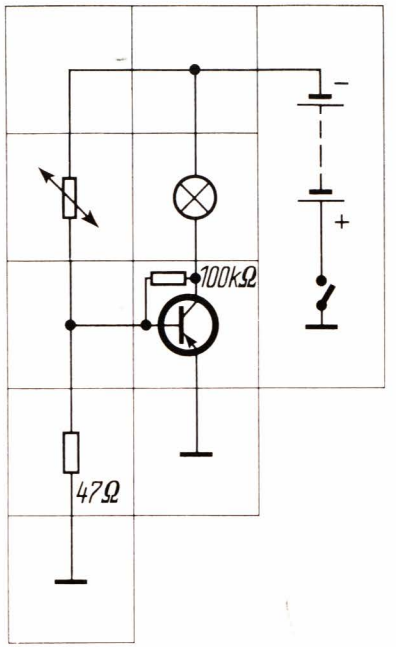
Beeinflussung der Blinkzeit durch Temperatur

An Stelle des Photowiderstandes tritt bei diesem Versuch der Heißleiter. Die Blitzfolge ist nun von der Temperatur des Heißleiters abhängig. Die Lichtblitze folgen schneller aufeinander, wenn man den Heißleiter erwärmt.

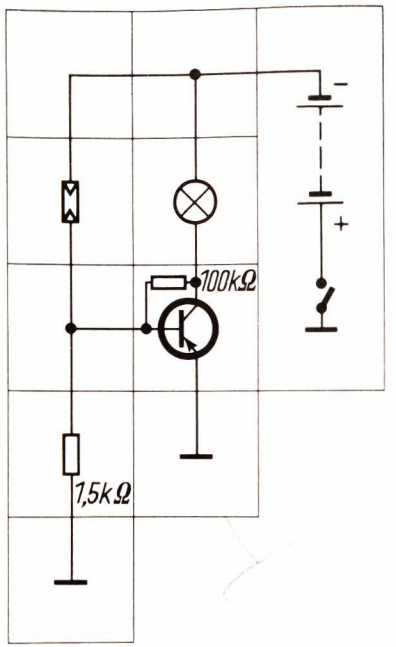


Ein elektronischer Wärmewächter

Eine Temperaturwarnanlage kann man nach dieser Schaltung aufbauen. Die Änderung des Heißleiters bei Erwärmung wird über einen Transistor verstärkt und in einer Glühlampe sichtbar gemacht. Bei kaltem Heißleiter (normale Raumtemperatur) leuchtet die Glühlampe bei eingeschalteter Batterie nicht auf. Erwärmt man jetzt den Heißleiter stark — beispielsweise indem man eine brennende Zigarette oder ein Streichholz in seine Nähe bringt —, dann wird der Temperaturanstieg durch Aufleuchten der Glühlampe angezeigt.

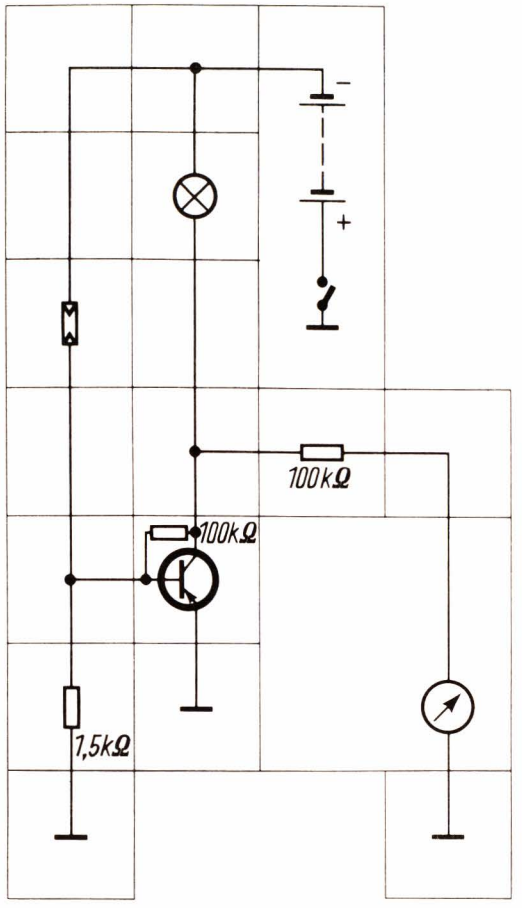


Diese Schaltung ist der vorigen ähnlich. Der Heißleiter wurde durch den Photowiderstand ersetzt. Man erhält auf diese Weise einen „Lichtwächter". Schaltet man die Batterie ein, dann wird die Glühlampe durch die Raumhelligkeit, die auf den Photowiderstand trifft, brennen. Schaltet man das Raumlicht aus oder deckt das Loch im Deckel ab, dann verlischt die Glühlampe.



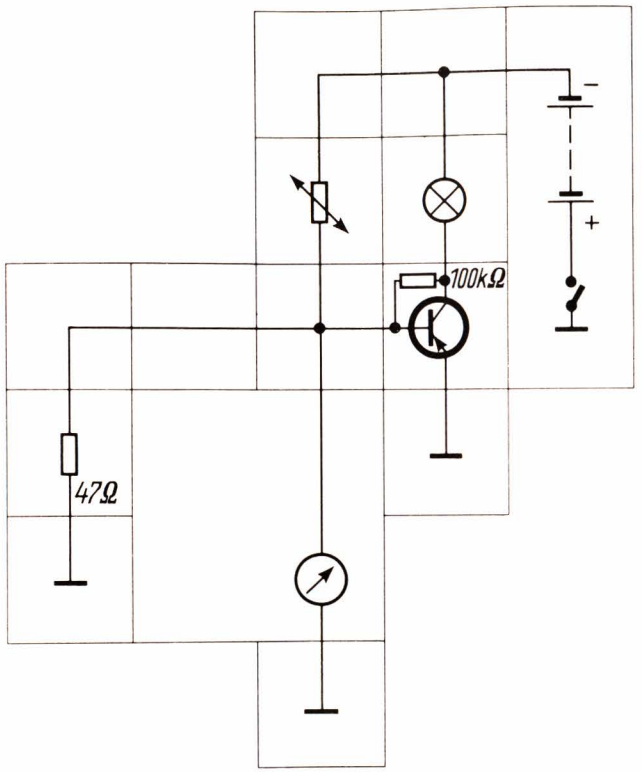
Messung des Steuervorgangs bei Lichtänderung

Mit diesem Aufbau lassen sich Änderungen der Belichtung des Photowiderstandes noch genauer nachweisen. Hierzu wurde das Meßinstrument eingefügt. An seinem unterschiedlichen Zeigerausschlag kann man erkennen, wenn sich die Belichtung des Photowiderstandes durch die Helligkeitsänderung der Raumbeleuchtung verändert. Das empfindliche Meßinstrument spricht schon an, wenn durch die Glühlampe noch nichts angezeigt wird.



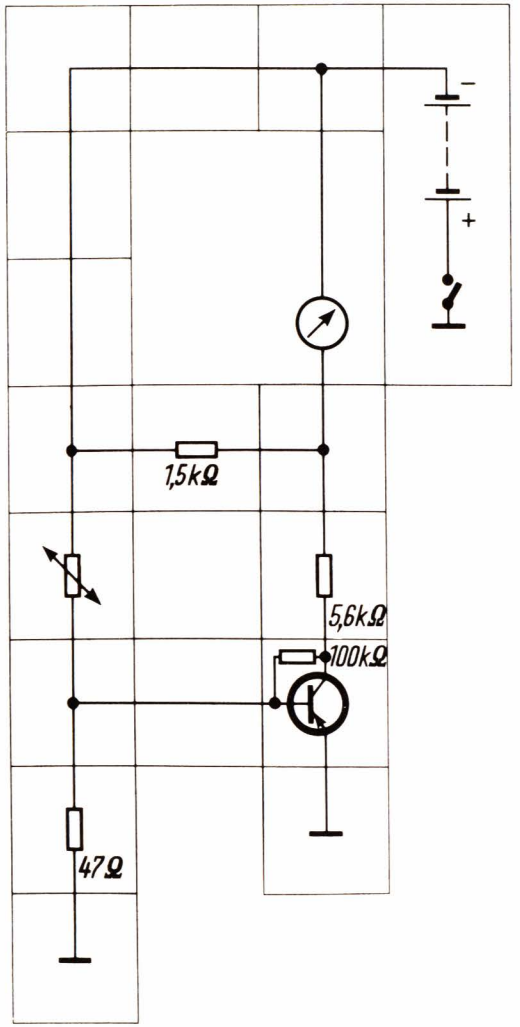
Messung des Steuervorgangs bei Temperaturänderung

Auch hier ist das Meßinstrument angeschlossen, an dem man die Wirkung des Heißleiters bei Erwärmung (z. B. Zigarette) durch Änderung des Zeigerausschlags erkennt, während gleichzeitig eine Anzeige durch die Helligkeitsänderung der Glühlampe erfolgt.



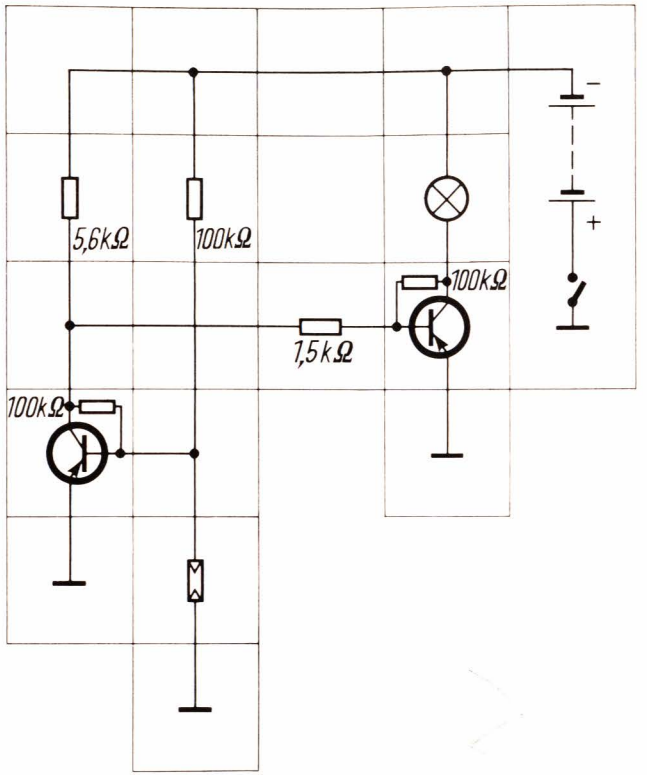
Ein empfindlicher Temperaturmesser

Einen empfindlichen Temperaturmesser kann man mit dem Versuch 14 aufbauen. Die Wirkung des Heißleiters wird in dieser Schaltung „verstärkt" und am Meßinstrument angezeigt.



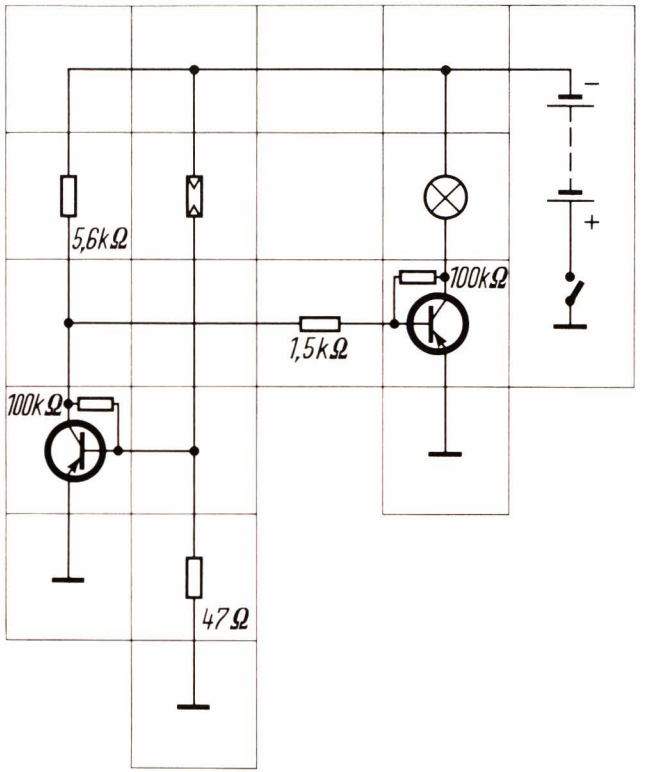
Die Lichtschranke

Die Änderung des Photowiderstandes bei unterschiedlicher Beleuchtung wird hier besonders hoch verstärkt. Fällt Licht auf den Photowiderstand, dann brennt die Glühlampe. Deckt man das Loch im Photowiderstands-Baustein ab, so verlischt die Lampe. Auf diese Weise läßt sich genau und mit hoher Empfindlichkeit feststellen, ob sich im Strahlengang zwischen einer Lichtquelle und dem Photowiderstand ein Gegenstand befindet. Solche Schaltungen werden in der Praxis vielfach zum Zählen von Stückgut verwendet.



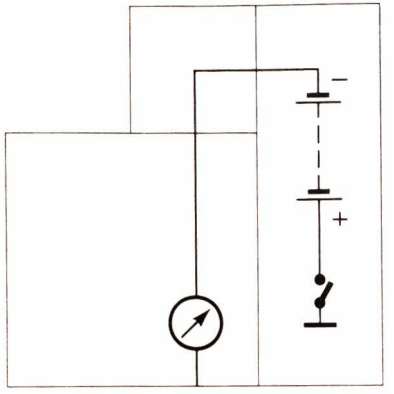
Ein Dämmerungsschalter

Bei diesem Versuch ist gegenüber dem letzten Schaltbild der Photowiderstand an einer anderen Stelle angeordnet. Man erhält damit die umgekehrte Wirkungsweise. Die Schaltung arbeitet dann als sogenannter „Dämmerungsschalter". Hier brennt die Glühlampe bei genügend starker Beleuchtung nicht. Deckt man das Loch im Photowiderstands-Baustein ab oder unterschreitet die Beleuchtung einen bestimmten Wert, so beginnt die Glühlampe zu leuchten. Auch diese Schaltung ist gegenüber der schon bekannten Anordnung mit nur einem Transistor wesentlich empfindlicher.



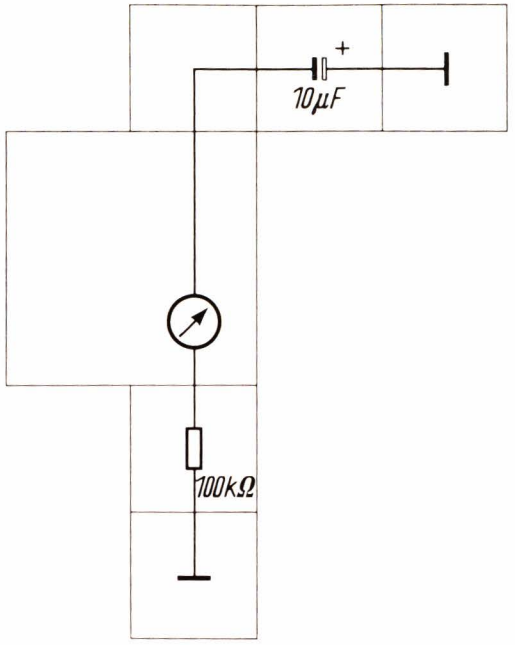
Nachweis der Leitfähigkeit des menschlichen Körpers

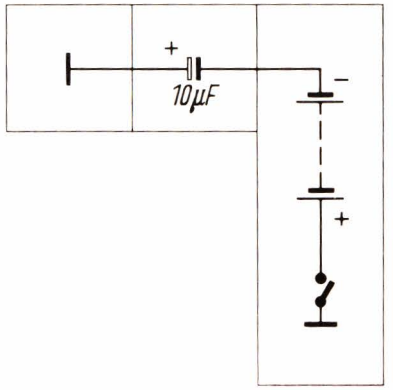
Der menschliche Körper ist in der Lage, elektrischen Strom zu leiten. Mit diesem Versuch läßt es sich nachweisen. Der eine Anschluß des Meßinstrumentes bleibt für den Versuch frei. Die Batterie wird eingeschaltet. Berührt man nun den freien Anschluß des Meßinstrumentes und die Grundplatte gleichzeitig, dann schlägt der Zeiger kräftig aus. Unser Körper stellt also die elektrische Verbindung her.



Speicherung der elektrischen Energie

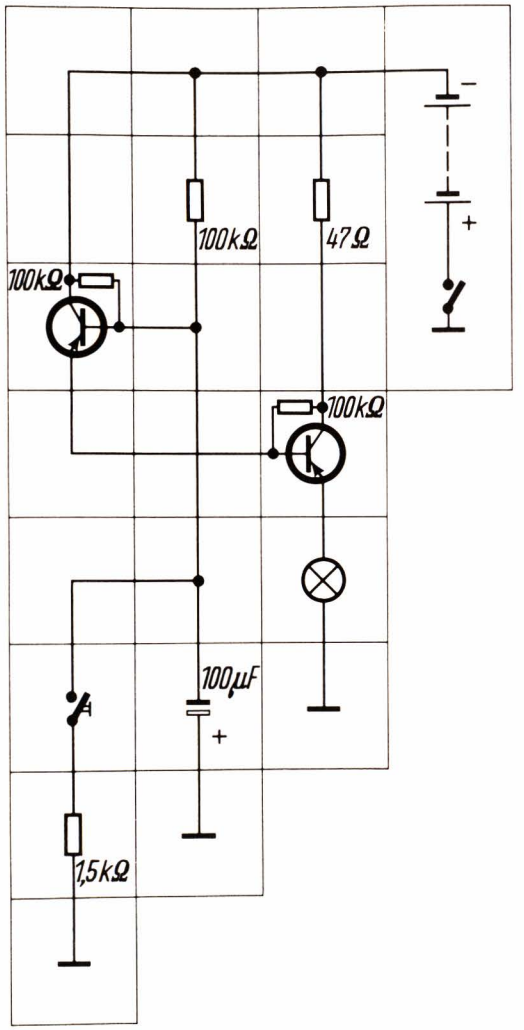
Dieser Versuch zeigt, daß man mit einem „Kondensator" elektrische Energie speichern kann. Hierzu wird der Kondensator (auf das + Zeichen achten, Anschlüsse nicht vertauschen!) nach dem rechten Schaltbild zunächst an die Batterie angeschlossen, er wird „aufgeladen". Fügt man nun den aufgeladenen Kondensator in das linke Schaltbild ein, dann schlägt der Zeiger des Meßinstrumentes zunächst bis etwa zur Ziffer 9 aus und geht dann langsam zurück.



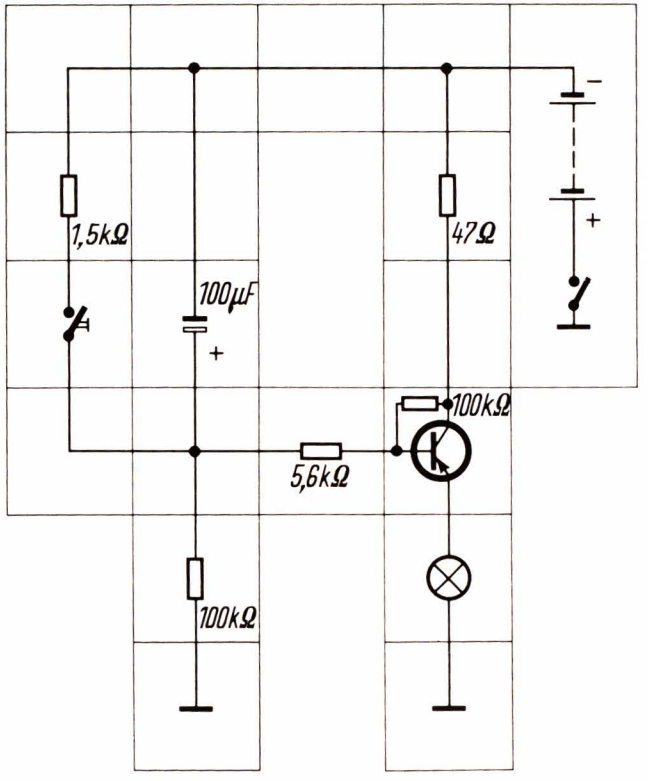


Automatische Helligkeitssteuerung

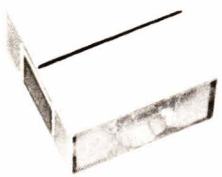
Eine selbsttätige Helligkeitsregelung erhält man mit dieser Schaltung. Vor dem Einschalten der Batterie wird der Tastenschalter kurz gedrückt und wieder losgelassen. Schaltet man nun die Batterie ein, dann leuchtet die Glühlampe zunächst nicht auf. Nach kurzer Zeit beginnt sie jedoch zu glühen, und die Helligkeit nimmt gleichmäßig zu. Drückt man wieder die Taste, dann verlischt die Lampe; beim Loslassen steigt die Helligkeit langsam wieder an.



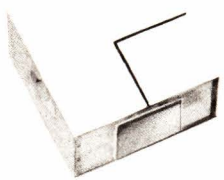
Durch einen anderen Schaltungsaufbau kann man eine gleichmäßige Abnahme der Helligkeit erreichen. Drückt man hier bei eingeschalteter Batterie den Tastenschalter, so leuchtet die Lampe zunächst hell auf. Nach dem Loslassen der Taste wird die Helligkeit langsam geringer, bis die Lampe schließlich verlischt.
Elektronische Schaltungen zur Helligkeitsregelung findet man zum Beispiel in Theatern zur Lichtsteuerung. Auch hier wird das Licht nicht plötzlich ein- oder ausgeschaltet, sondern allmählich von dem einen in den anderen Zustand geregelt. Mit elektronischen Schaltungen ist das besonders gut möglich.
Dies ist der letzte Versuch, der mit dem Grundkasten aufgebaut werden kann. Wir kennen nun schon einige der vielen Möglichkeiten, die uns die elektronische Schaltungstechnik bietet. Um aber die einzelnen Bauteile näher zu untersuchen und ihre Wirkungsweise zu verstehen, muß man den weiteren Text des Experimentierbuches lesen und dabei die zunächst ganz einfachen, später immer umfangreicheren Versuche genau nach den Anleitungen aufbauen. Wenn man sich die Schaltbilder auf den nächsten Seiten ansieht, so wird man feststellen, daß sich einige davon auch schon mit den Einzelteilen des Grundkastens aufbauen lassen. Sehr bald werden aber bestimmte Bausteine fehlen, so daß dann das Ausbausystem 1 (S) zusätzlich zu dem Grundsystem (S) notwendig wird — wenn man nicht schon das Grund- und Ausbausystem 1 (S) besitzt, in dem die Teile beider Kästen vereinigt sind.



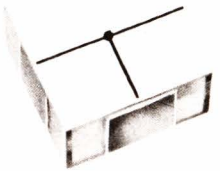
In der Einführung wurde bereits darauf hingewiesen, daß das vorliegende Experimentiersystem keinerlei lose Kabel oder Drähte verwendet. Selbstverständlich benötigt man aber auch für dieses System Verbindungsteile zwischen den einzelnen Bauelementen. Der Experimentierkasten enthält, wie wir bereits durch die Vorversuche erfahren haben, hierzu eine ganze Reihe von Verbindungsbausteinen in verschiedener Ausführung. In ihnen befinden sich keine elektrischen Bauteile, wie Widerstände, Kondensatoren und dergleichen, sondern nur durchgehende Verbindungen zwischen zwei oder mehreren Kontaktplättchen. Die einfachste Ausführung dieser Bausteingruppe und damit der einfachste Baustein des Experimentierkastens ist das gerade Verbindungsstück.



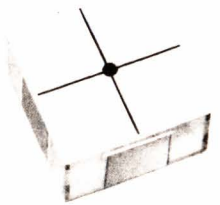
Hier sind lediglich zwei gegenüberliegende Kontaktplättchen miteinander verbunden.



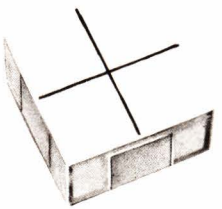
Eine Verbindung im rechten Winkel ermöglicht dieser Baustein. Damit läßt sich eine Ecke im Leitungszug der Schaltung verwirklichen.



Einen Schritt weiter geht der Abzweigungs-Baustein, bei dem zwei gegenüberliegende und ein senkrecht dazu stehendes Kontaktplättchen verbunden sind. Man erhält ein T-förmiges Leitungsstück.



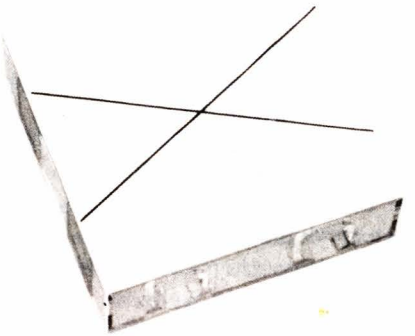
Alle vier Seitenflächen des Grundbausteins sind bei dem Leitungskreuz verbunden. Dabei ist besonders darauf zu achten, daß die beiden aufeinander senkrecht stehenden Leitungen an ihrer Kreuzungsstelle einen Punkt haben. Bei der T-förmigen Abzweigung wurde die Verbindungsstelle ebenfalls durch einen Punkt gekennzeichnet.

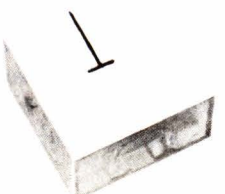


Fehlt dieser Punkt an einer Leitungskreuzung, so bedeutet das, daß die Leitungen isoliert aneinander vorbeigehen. Ein solcher Baustein ist das isolierte Leitungskreuz.

Sowohl beim Lesen der Schaltbilder als auch beim Zusammenbau der Versuchsschaltungen muß man darauf achten, daß die beiden Bausteine isoliertes Leitungskreuz und verbundenes Leitungskreuz nicht verwechselt werden. Beachtet man das nicht, dann wird die Schaltung nicht arbeiten. In bestimmten Fällen können dabei auch einzelne Bauteile überlastet und damit zerstört werden.

Neben dem schon genannten geraden isolierten Leitungskreuz enthält der Experimentierkasten noch einen Vierer-Baustein (er entspricht der Größe von vier Einzelbausteinen) mit schrägem, isolierten Leitungskreuz.



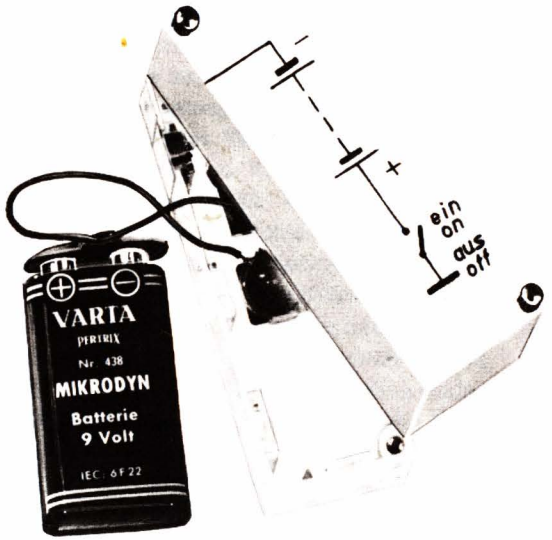


Die letzte Ausführung in der Gruppe der Verbindungsbausteine stellt die Masseverbindung dar. Hier ist das Kontaktplättchen einer Seitenfläche mit dem Kontaktplättchen an der Bodenfläche des Bausteins verbunden. Über diesen Baustein läßt sich also der Anschluß eines Bauteils mit der Grundplatte (dem Chassis) verbinden. Da dieser Leitungszug direkt nach Masse führt, ist auf ihm das Symbol für die Masseverbindung dargestellt.

Der Batteriebaustein

Die treibende Kraft für alle Versuche ist die im Batteriebaustein einzusetzende Batterie. Es handelt sich um eine handelsübliche Batterie für Transistorradios mit einer Spannung von 9 Volt, die in jedem Radio- und Elektrogeschäft erhältlich ist.

Durch Zusammendrücken der beiden Flanken kann der Batterie-Baustein geöffnet werden. Beim Schließen des Deckels ist darauf zu achten, daß die Abwinkelung der Leitung beim Schaltsymbol auf das seitliche Kontaktplättchen hinweist.



Hier taucht nun gleich der erste elektrische Begriff auf: die elektrische Spannung. Das ist die Kraft, mit der die Versuchsschaltungen betrieben werden. Je höher die Spannung, um so größer auch die treibende Kraft. Die häusliche Lichtleitung hat beispielsweise eine Spannung von 220 Volt. Eine solche Spannung ist bereits äußerst gefährlich, wenn man unsachgemäß damit umgeht. Die verwendete Batterie liefert eine völlig ungefährliche Spannung. Sie ist aber ausreichend, um alle beschriebenen Schaltungen sicher zu betreiben.

Als Maßeinheit für die elektrische Spannung — so wie das Gramm für das Gewicht — gilt das Volt, abgekürzt V. Um auch sehr große oder sehr kleine Spannungen einfach bezeichnen zu können, hat man Untereinheiten festgelegt. So sind 1000 Volt ein Kilovolt (kV), ein tausendstel Volt ist ein Millivolt (mV), ein millionstel Volt ein Mikrovolt (μV). Es ist leichter, beispielsweise 1 μV zu schreiben, statt 0,000001 V.

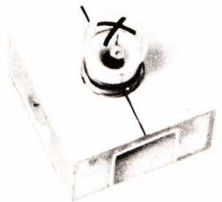
Wenn man die Batterie benutzt, wird die in ihr gespeicherte Kraft allmählich erschöpft, ihre Spannung wird geringer. Das kann auch passieren, wenn man sie sehr lange unbenutzt liegen läßt. Ein Nachlassen der Spannung merkt man daran, daß die mit den Bausteinen aufgebauten Schaltungen nicht mehr einwandfrei oder überhaupt nicht mehr arbeiten. Soweit braucht es nicht erst zu kommen.

Die im Experimentierkasten enthaltenen Teile ermöglichen eine einwandfreie Kontrolle der Batteriespannung. Sinkt sie unter einen Wert von etwa 7 V ab, dann sollte man die Batterie ersetzen. Von den beiden Polen der Batterie ist der Minuspol direkt an das Kontaktplättchen an der langen Seitenfläche des Batteriebausteins geführt. Der Pluspol ist mit dem Kontaktplättchen an der Bodenfläche verbunden. Bei betriebsfertiger Schaltung ist also in jedem Falle der Pluspol der Batterie mit der Grundplatte verbunden, er liegt „an Masse".

Hat man einen Versuch beendet, soll der Batteriebaustein von der Schaltung getrennt, der Stromkreis somit unterbrochen werden. Damit erreicht man größtmögliche Schonung und eine lange Lebensdauer der Batterie.

Für Langzeitversuche kann man das Lectron Netzteil LN 300 verwenden. Es liefert genau wie die Batterie eine gefahrlose Gleichspannung von 9 Volt.

Der Glühlampenbaustein



Als einfache Anzeigevorrichtung für die Versuchsschaltungen dient dieser Baustein. Im Kästchen ist eine kleine Schraubfassung eingebaut, in die eine Niederspannungs-Glühlampe eingeschraubt wird. Sollte diese Lampe einmal durchbrennen, dann kann man sie leicht gegen eine neue ersetzen. Auch hier ist aber unbedingt darauf zu achten, daß der gleiche Typ, nämlich eine Glühlampe für 6 V und 0,05 A, verwendet wird. Dieser Typ ist auf die anderen Bauteile abgestimmt. Die Anschlüsse der Glühlampenfassung sind an zwei gegenüberliegende Kontaktplättchen des Bausteins geführt.

Die Wirkung des elektrischen Stromes in einer Glühlampe

Experiment 21

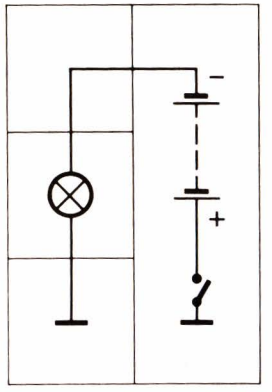
Man benötigt den Batteriebaustein, den Glühlampenbaustein, eine Winkelverbindung und eine Masseverbindung. Die Bausteine werden entsprechend dem Schaltbild 21 zusammengesetzt. Schaltet man die Batterie ein, dann leuchtet die Glühlampe sehr hell auf. Man darf den Versuch nur ganz kurz durchführen, da die Glühlampe nur für eine Spannung von 6 V gebaut ist, die Batterie aber 9 V abgibt. Bei längerem Einschalten würde die Glühlampe bald durchbrennen. Man sieht, daß die Kraft der Batterie, ihre Spannung, eine Arbeit verrichtet: sie erzeugt Licht. Das wird möglich, weil der Stromkreis von der Batterie über die Glühlampe, die Masseverbindung, die Grundplatte und den Schalter geschlossen ist. Es fließt also ein Strom. Das ist der zweite wichtige Begriff der Elektrotechnik.

Aus dem bisher Gesagten kann man schon ein paar wesentliche Grundsätze erkennen:

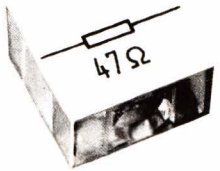
Als Kraftquelle für elektrische Anlagen benötigt man eine Spannung. Die Spannung ist immer vorhanden, auch wenn keine weiteren Bauelemente angeschlossen sind. Verbindet man die beiden Pole der Spannungsquelle über ein oder mehrere Bauelemente, dann fließt ein Strom. Der Stromkreis ist geschlossen.

Würde man die beiden Pole der Batterie direkt über eine Leitung verbinden, dann erhielte man einen sogenannten Kurzschluß. Der dabei auftretende Strom wäre sehr hoch und die Batterie würde darunter leiden. Das sollte in jedem Fall vermieden werden.

Auch der elektrische Strom hat eine Maßeinheit, und zwar das Ampere, abgekürzt A. Als Untereinheit kennt man das Milliampere (mA) = ein tausendstel Ampere, das Mikroampere (μA) = ein millionstel Ampere und für sehr große Ströme, wie sie aber bei den hier durchzuführenden Versuchen nicht vorkommen, das Kiloampere (kA) = 1000 Ampere.



Die Widerstands-Bausteine



Der dritte besonders wichtige Begriff in der Elektrotechnik ist der Widerstand. Kein Bauteil, auch nicht ein kurzes Drahtstück, bildet unter normalen Bedingungen einen vollkommenen Kurzschluß für eine Spannung. Der auftretende Verlust, eben der „Widerstand", ist von der Materialzusammensetzung, von der Länge und dem Querschnitt abhängig. Ein langer und dünner Draht hat einen größeren Widerstand als ein kurzer und dicker Draht des gleichen Materials.

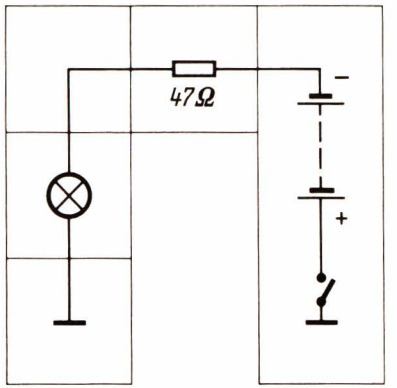
Bei Kabeln und Verbindungsdrähten ist ein hoher Widerstand grundsätzlich unerwünscht. Umgekehrt dazu ist für viele Fälle ein ganz bestimmter Widerstand notwendig. Der Experimentierkasten enthält zu diesem Zweck verschiedene Widerstands-Bausteine. Wie Strom und Spannung, so hat auch der elektrische Widerstand eine Maßeinheit: das Ohm. In der Abkürzung wurde dafür der griechische Buchstabe Ω gewählt. Auch für die Widerstandseinheit gibt es wieder die schon bekannte Untereinheit Kiloohm (kΩ) = 1000 Ohm, zu der in späteren Versuchen noch die Größenordnung Megaohm (MΩ) = 1 Million Ohm kommt.

Spannung, Strom und Widerstand haben eine ganz bestimmte Beziehung zueinander. Bleibt die Spannung auf einem festen Wert, dann wird der Strom um so kleiner, je größer der Widerstand im Stromkreis wird. Bei Verdoppelung des Widerstandes fließt nur noch der halbe Strom. Verringert man den Widerstand auf die Hälfte seines ursprünglichen Wertes, dann fließt der doppelte Strom. Andererseits fließt bei gleichbleibendem Widerstand auch ein doppelt so großer Strom, wenn man die angelegte Spannung verdoppelt. Zwei weitere Versuche sollen diese Zusammenhänge zeigen.

Einfluß eines zusätzlichen Widerstandes im Stromkreis

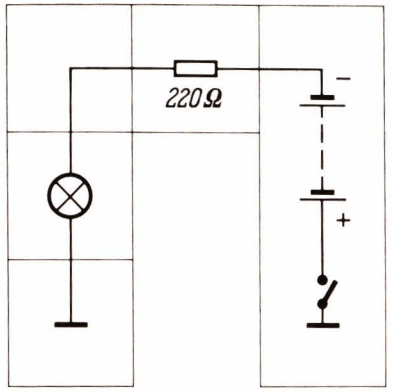
Experiment 22

Zwischen das Winkelstück und den Batteriebaustein des Versuches 21 wird der Widerstandsbaustein 47 Ω eingefügt. Schaltet man die Batterie ein, dann brennt die Glühlampe nicht mehr so hell wie beim Versuch 21. Infolge des zusätzlichen Widerstandes fließt ein geringerer Strom, der den Glühfaden der Lampe nicht mehr so stark erhitzen kann.



Einfluß eines größeren Widerstandes im Stromkreis

Der Widerstandsbaustein mit 47 Ω wird gegen den mit 220 Ω ausgetauscht. Die Glühlampe brennt nun beim Einschalten der Batterie nur noch ganz schwach. Der Strom ist also noch geringer geworden.



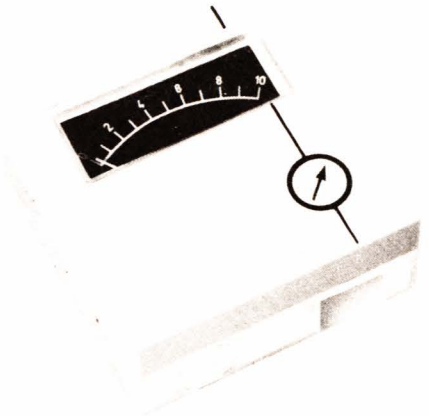
Die Versuche 21, 22 und 23 sind noch sehr einfach, man kann daraus aber den Zusammenhang der jetzt schon bekannten elektrischen Größen erkennen. Für die weiteren Versuche soll daher nicht mehr einfach beurteilt werden, ob die Lampe hell oder dunkel brennt, sondern es soll wieder das im Grundsystem enthaltene Meßinstrument angewendet werden.

Ausbausystem 1 (S)
30 weitere Versuche
zu Elektronik II
und Rundfunktechnik

Im Ausbausystem 1 S werden in den Schülerübungen zur Elektrik mit Aufgabe- und Antwortkarten die Eigenschaften der wichtigsten elektronischen Bauelemente und deren Zusammenwirken in einfachen und komplizierten Schaltungen behandelt. (ca. 120 Einzelexperimente)

Das Anzeige-Instrument

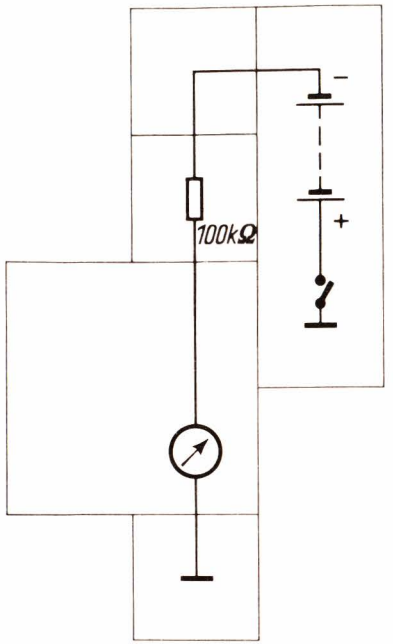
Der Viererbaustein mit dem Anzeigeinstrument enthält ein hochempfindliches Drehspulmeßwerk. Es schlägt bei einem Strom von 100 μA bereits voll aus und hat einen Eigenwiderstand von 4 kΩ. Diese Werte sind in den Versuchen berücksichtigt. Die Skala des Instrumentes ist von 0 bis 10 geteilt. In den Versuchsbeschreibungen, bei denen das Instrument verwendet wird, ist jeweils angegeben, welchem Skalenwert ein



bestimmter Strom oder eine bestimmte Spannung entspricht. Der Minuspol des Meßwerks ist mit dem oberen Kontaktplättchen verbunden und sein Pluspol mit dem unteren. Die Schaltungen, bei denen das Meßinstrument verwendet wird, sind so aufgebaut, daß die Zahlen der Skala entweder von unten oder von rechts zu lesen sind. Dadurch ist eine falsche Polung des Instrumentes ausgeschlossen.
Meßinstrumente mit 0-Punkt in der Mitte schlagen je nach Polung nach rechts oder links aus.

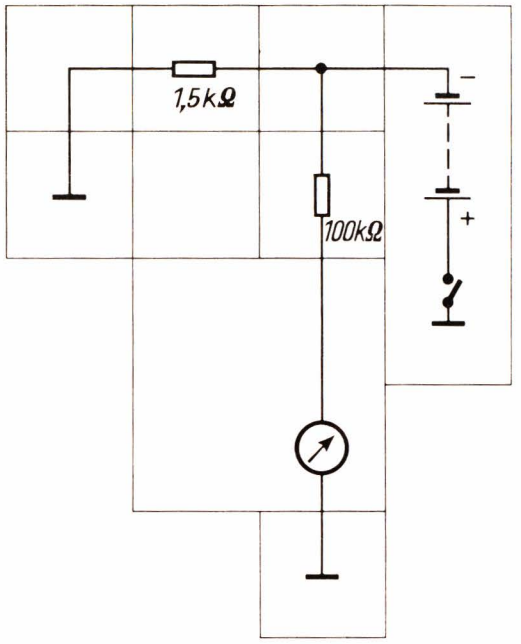
Die Anzeige des elektrischen Stromes durch ein Messinstrument

Mit der Batterie, dem Anzeigeinstrument, dem Widerstandsbaustein 100 kΩ, einer Winkel- und einer Masseverbindung wird eine neue Schaltung aufgebaut. Schaltet man nach dem Zusammensetzen der Teile die Batterie ein, dann schlägt das Instrument aus. Mit der Versuchsschaltung 24 läßt sich demnach die Batteriespannung prüfen. Bei der angegebenen Sollspannung von 9 V für eine neue Batterie muß der Zeiger etwa bis zum Skalenwert 9 ausschlagen. Ein Skalenwert von 7 läßt erkennen, daß die Batterie nur noch eine Spannung von 7 V hat. Sie ist dann nahezu verbraucht und sollte ausgetauscht werden. Der in Reihe mit dem Instrument liegende Vorwiderstand von 100 kΩ ist sehr hochohmig. Es fließt daher nur ein geringer Strom, nämlich der, den das Instrument bis zum gewünschten Ausschlag von 9 V braucht. Der Batterie wird deshalb nur sehr wenig Leistung entzogen, sie wird nur gering belastet. Das ist eine wesentliche Voraussetzung für Spannungsmesser. Sie sollen möglichst hochohmig sein, damit die Spannungsquelle nur gering belastet wird.



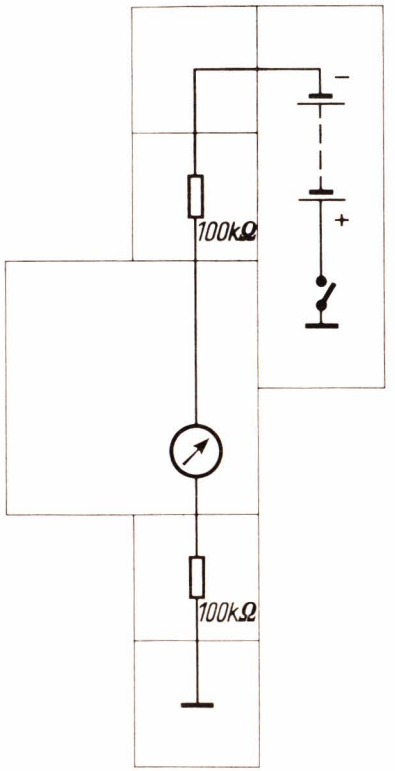
Die Belastung der Batterie durch einen Widerstand

Zwischen den Widerstandsbaustein 100 kΩ und die Batterie der Schaltung 24 wird noch ein Abzweigungsbaustein eingefügt. Von der Abzweigung nach Masse führt ein Widerstand von 1,5 kΩ. Durch diesen zweiten Widerstand wird die Batterie belastet. Man wird jedoch feststellen, daß sich die Anzeige am Instrument bei dieser Belastung kaum ändert. Nur bei sehr stark verbrauchter Batterie oder bei Verwendung sehr niederohmiger Widerstände kann man in der Schaltung eine gewisse Abweichung von der unbelasteten Spannung feststellen. Das liegt daran, daß auch die Batterie einen Eigenwiderstand hat, der bei zunehmender Alterung ansteigt und sich dann störend bemerkbar macht.



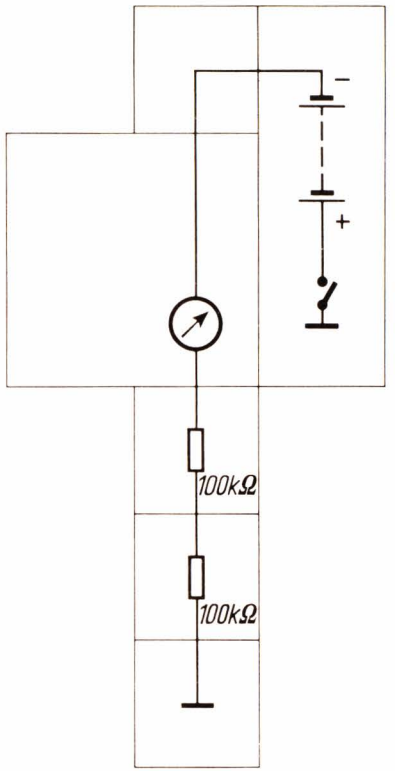
Der Einfluß des Vorwiderstandes auf den Ausschlag des Meßinstrumentes

Der Versuch 24 hat schon gezeigt, daß das Instrument bei gleichbleibendem Vorwiderstand als Spannungsmesser zu verwenden ist. Gleichzeitig ist die Anzeige aber auch ein Maß für den fließenden Strom. Bleibt die Spannung konstant, dann ist der Strom vom Gesamtwiderstand des Stromkreises abhängig. Im Versuch 24 entsprach die Anzeige einem fließenden Strom von etwa 90 µA. In den Stromkreis der Versuchsschaltung 24 wird nun zusätzlich ein weiterer Widerstand von 100 kΩ eingefügt. Der Ausschlag des Instrumentes reicht jetzt nur noch bis zum Skalenwert 4,5 — das entspricht einem Strom von 45 µA. Der doppelte Widerstand im Stromkreis setzt also den Strom auf die Hälfte herab.
Man kann durch Austauschen des einen 100 kΩ Widerstandes gegen andere Werte die Versuchsreihe beliebig fortsetzen und den Zusammenhang zwischen Widerstand und Strom nachweisen. Lediglich ein 100 kΩ Widerstand muß immer im Stromkreis des Instrumentes bleiben, damit der Vollausschlag nicht überschritten wird.



Nachweis der Gleichmäßigkeit des Stromes im gesamten Stromkreis

Dieser Versuchsaufbau ähnelt dem vorhergehenden. Das Anzeigeinstrument befindet sich nur an einer anderen Stelle des Stromkreises. Da jedoch die gleichen Widerstandswerte wie im vorigen Schaltbild verwendet werden, zeigt das Instrument wieder den gleichen Ausschlag. Auch wenn man das Instrument an einer beliebigen anderen Stelle des Stromkreises einsetzt, wird sich der Ausschlag nicht ändern. Man erkennt daraus, daß der Strom in einem geschlossenen Stromkreis überall gleich ist, einerlei an welcher Stelle des Stromkreises gemessen wird.

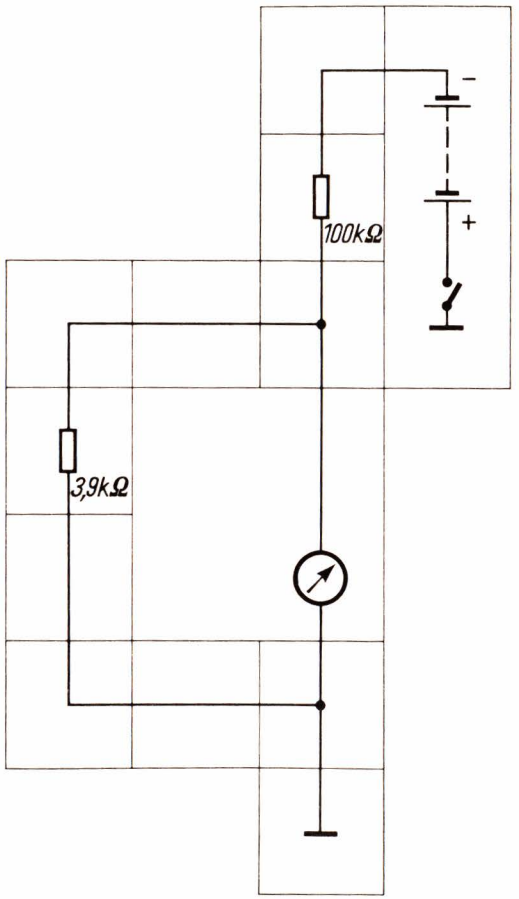


Die Wirkung des Parallelwiderstandes zum Instrument

Die Schaltung enthält wieder den bisher benutzten 100 kΩ Widerstand in Reihe mit dem Instrument. Zusätzlich werden im Stromkreis zwei Abzweigungen angeordnet, die über Winkelstücke an einen Widerstandsbaustein von 3,9 kΩ führen. Dieser Widerstand liegt also parallel zum Anzeigeinstrument. Die Größe des Parallelwiderstandes entspricht nahezu dem Eigenwiderstand des Anzeigeinstrumentes (4 kΩ). Schaltet man die Batterie ein, dann schlägt das Instrument nur noch bis etwa zum Skalenwert 4,5 aus. Das entspricht wieder einem Strom von 45 μA. Entfernt man zur Kontrolle den Parallelwiderstand, dann erfolgt wieder ein Ausschlag bis zum Skalenwert 9 entsprechend einem Strom von 90 μA. Der Versuch zeigt, daß ein dem Instrument parallel geschalteter Widerstand von der gleichen Größe, wie der Instrumentenwiderstand selbst, die Stromanzeige am Instrument halbiert. Der Strom wird am oberen Abzweigbaustein in zwei Hälften aufgeteilt und fließt dann je zur Hälfte über den Instrumentenwiderstand und den Parallelwiderstand. Im unteren Abzweigungsbaustein werden die beiden Teilströme wieder zusammengeführt. Auf diese Weise läßt sich also der Strommeßbereich eines Instrumentes erweitern. Wählt man den Parallelwiderstand noch kleiner, dann fließt über diesen ein noch größerer Anteil des Gesamtstromes und über das Instrument ein entsprechend geringerer Anteil. Man kann den Parallelwiderstand beispielsweise auch so wählen, daß das Instrument nur 1/5 oder 1/10 des Gesamtstromes anzeigt. Derartige Meßbereichserweiterungen werden in den späteren Versuchen notwendig.

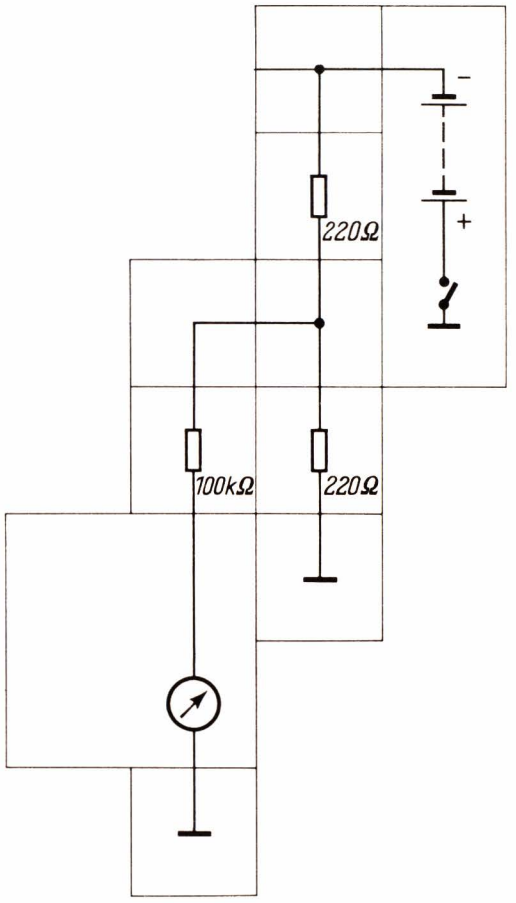
Die zuletzt gewonnenen Erkenntnisse sollen hier noch einmal zusammengefaßt werden:

Durch einen Vorwiderstand (auch Reihen- oder Serienwiderstand genannt) wird ein Drehspul-Meßinstrument auf einen bestimmten Spannungsmeßbereich abgeglichen. Durch einen Parallelwiderstand (auch Nebenwiderstand oder Shunt genannt) läßt sich der Strommeßbereich des Instruments erweitern.



Ein Spannungsteiler aus Festwiderständen

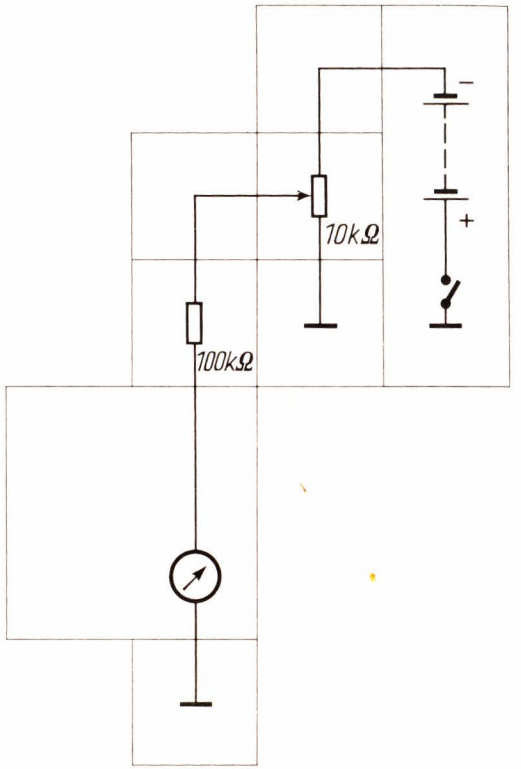
Der nachfolgende Versuch soll das Prinzip des sogenannten Spannungsteilers erklären. Die Batterie wird hierzu durch zwei gleichgroße, in Reihe liegende Widerstände von 220 Ω belastet. Für die Versuchsdurchführung werden zwei Abzweigungen benötigt. Das Anzeigeinstrument wird als Spannungsmesser verwendet. Es erhält wieder den Vorwiderstand von 100 kΩ. Mißt man nun die Spannung zwischen der oberen Abzweigung und Masse, dann erhält man wieder die volle Batteriespannung entsprechend dem Skalenwert von 9. Wenn man aber zwischen der unteren Abzweigung und Masse mißt, dann schlägt das Instrument nur noch bis zum Skalenwert 4,5 aus. Das bedeutet in diesem Falle eine Spannung von 4,5 V, also die Hälfte des zuerst gemessenen Wertes. Zwei gleichgroße Widerstände im Stromkreis teilen also auch die Spannung in zwei gleiche Teile auf. Würde man die Widerstände ungleich wählen, dann würden auch jeweils ungleiche Spannungen zu messen sein. Die Größen der Spannungen verhalten sich dabei wie die Widerstandsgrößen.



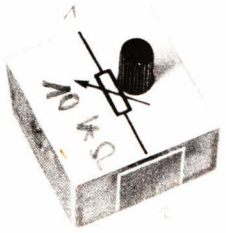
Die bisher beschriebenen Widerstands-Bausteine sind Festwiderstände. Daneben enthält das Experimentiersystem aber auch regelbare Widerstände. Bei diesen bewegt sich ein Schleifkontakt kreisförmig auf einer Widerstandsbahn. Man kann an die beiden Enden der Widerstandsbahn je eine Leitung anschließen und eine dritte Zuführung an den Schleifkontakt legen. Damit erhält man ein sogenanntes Potentiometer. Der bereits durchgeführte Spannungsteilerversuch läßt sich mit einem solchen Baustein erweitern.

Ein stetig regelbarer Spannungsteiler

Die Batterie wird mit einem Potentiometer von 10 kΩ belastet. Das Anzeigeinstrument ist auch hier wieder als Spannungsmesser geschaltet. Es liegt über einen Vorwiderstand von 100 kΩ zwischen dem Schleifkontakt des Potentiometers und Masse. Befindet sich der Schleifkontakt am rechten Ende der Widerstandsbahn, dann zeigt das Instrument die volle Batteriespannung an. Dreht man das Potentiometer nun langsam durch, dann wird die angezeigte Spannung immer geringer. Hat der Schleifkontakt das linke Ende der Widerstandsbahn erreicht, dann wird die angezeigte Spannung Null. Mit dem Potentiometer läßt sich demnach eine vorhandene Spannung stufenlos von Null bis zum vollen Spannungswert regeln.

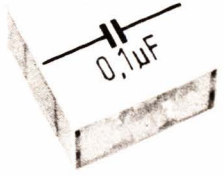


Der Regelwiderstands-Baustein



Im Lectron Experimentiersystem ist noch ein weiterer einstellbarer Widerstand enthalten. Hier sind jedoch nur ein Ende der Widerstandsbahn und der Schleifkontakt angeschlossen. Man erhält auf diese Weise einen stufenlos veränderlichen Widerstand. Die beiden Anschlüsse sind an gegenüberliegende Kontaktplättchen geführt.

Die Kondensator-Bausteine

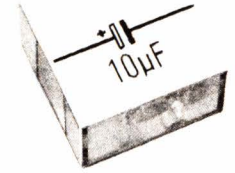


Ein Kondensator besteht im Prinzip aus zwei metallischen Platten, zwischen denen sich eine isolierende Schicht befindet. Die einfachste Isolierung ist Luft. Zwei sich gegenüberstehende Platten mit einem gewissen Abstand stellen also schon einen Kondensator dar.

Die wesentliche Eigenschaft eines Kondensators ist seine Fähigkeit, elektrische Energie zu speichern. Wie sich das auswirkt, zeigen die folgenden Versuche. Je nach Aufbau und dem verwendeten Material eines Kondensators kann er viel oder wenig elektrische Energie speichern. Er hat ein ganz bestimmtes Fassungsvermögen, seine „Kapazität". Sie ist abhängig von der Plattengröße, dem Abstand der Platten — und dem dazwischenliegenden Isoliermaterial.

Luft als Isolator wird in der Praxis nur bei veränderlichen Abstimmkondensatoren, den Drehkondensatoren, verwendet.

Die heute üblichen Festkondensatoren enthalten beispielsweise Papier, Kunststoff-Folien oder keramische Materialien als isolierende Zwischenschicht.



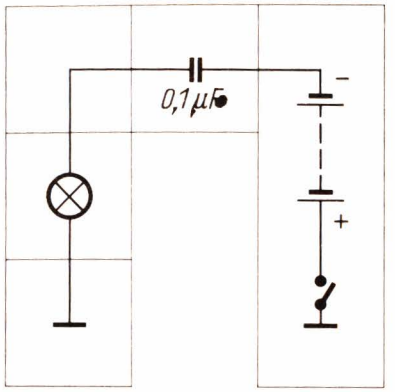
Einen abweichenden Aufbau hat der sogenannte Elektrolytkondensator.

Bei diesem Bauteil hat man im Prinzip wieder zwei Metallflächen, zwischen denen eine Papierschicht liegt. Das stark saugfähige Papier ist mit einer leitenden Flüssigkeit getränkt. Durch einen besonderen elektrochemischen Prozeß wird erreicht, daß sich auf der Oberfläche der einen Metallfläche eine isolierende Schicht bildet, die den eigentlichen Isolator darstellt. Da die Schicht äußerst dünn ist, wird das Speichervermögen des Elektrolytkondensators (seine Kapazität) bei gleichen äußeren Abmessungen im Verhältnis zu einem gewöhnlichen Kondensator außerordentlich hoch. Der normale Elektrolytkondensator darf aber nur in einer vorgeschriebenen Polarität an eine Spannung angeschlossen werden, andernfalls wird er zerstört. Die erstgenannten Kondensatoren sind dagegen polunabhängig. Das geht auch schon aus den Schaltsymbolen hervor. Der dicke, ausgezogene Strich beim Elektrolytkondensator bedeutet immer minus, das flache Kästchen ist der Pluspol. In den Schaltbildern wird die Polarität des Elektrolytkondensators immer mit angegeben. In der Fachsprache bezeichnet man den Elektrolytkondensator kurz als Elko.

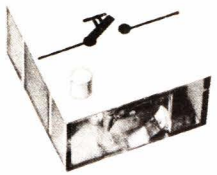
Die Kapazität eines Kondensators hat wieder eine Maßeinheit: Das Farad. Die Grundeinheit Farad ist aber eine sehr große Kapazität, die in der Praxis kaum vorkommt. Als größte Untereinheit in der Radiotechnik und Elektronik kennt man das Mikrofarad (µF) = ein millionstel Farad und das Picofarad (pF) = ein millionstel Mikrofarad.

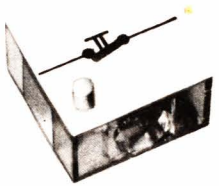
Das Verhalten eines Kondensators im Gleichstromkreis

Mit dem Versuch 31 soll nachgewiesen werden, daß ein Kondensator im Gleichstromkreis der Batterie einen Stromfluß verhindert. Die Batterie, ein Kondensator von 0,1 μF und die Glühlampe liegen hierzu in Reihe. Schaltet man die Batterie ein, dann leuchtet die Glühlampe nicht auf. Der Kondensator sperrt also den Batteriestrom.



Die Tastenschalter





Für kurzzeitige Schaltvorgänge sind die Bausteine mit Tastenschalter vorgesehen. Der Grundkasten enthält einen Tastenschalter, bei dem der Kontakt im Ruhezustand geöffnet ist. In Arbeitsstellung, also wenn die Taste gedrückt wird, sind die beiden gegenüberliegenden Kontaktplättchen verbunden. Man spricht daher auch von einer Taste mit Arbeitskontakt oder kurz von einer Arbeitstaste. Im Gegensatz hierzu enthält der Aufbaukasten 2 neben einer weiteren Arbeitstaste auch eine Taste, bei der die Kontaktplättchen im Ruhezustand verbunden sind. Beim Drücken wird der Kontakt unterbrochen. Es ist also ein Tastenschalter mit Ruhekontakt, eine Ruhetaste.

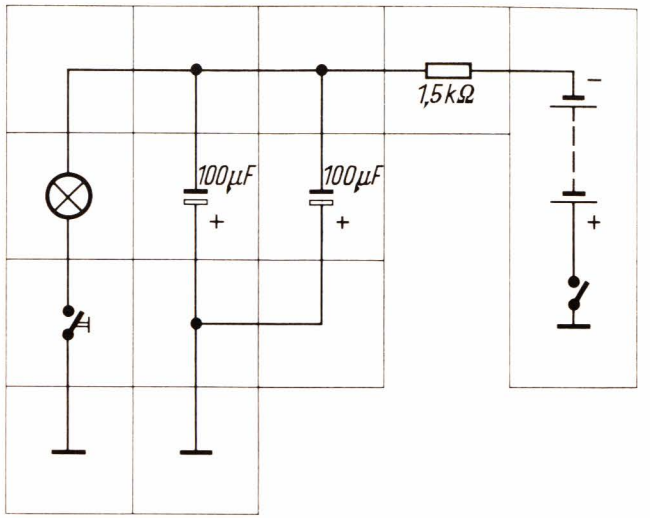
Nachweis der Energiespeicherung mit einem Kondensator

Experiment 32

In dieser Schaltung läßt sich die Fähigkeit des Kondensators, elektrische Energie zu speichern, darstellen. Man benutzt dazu die beiden Elkos von 100 µF und schaltet sie parallel. Wie schon erwähnt, muß dabei auf die richtige Polarität geachtet werden. Über einen Vorwiderstand von 1,5 kΩ sind die Kondensatoren mit der Batterie verbunden. Parallel zu den Elkos liegt über den Tastenschalter die Glühlampe. Schließt man den Batterieschalter, dann wird den Elkos über den Vorwiderstand Energie zugeführt. Sie laden sich jetzt auf die volle Batteriespannung auf. Nach einigen Sekunden betätigt man nun den Tastenschalter. Die Glühlampe wird dabei kurz aufleuchten. In diesem Augenblick geben die Elkos die gespeicherte Energie über die Glühlampe wieder ab. Ist das erfolgt, dann kann die Glühlampe nicht mehr brennen, denn sie liegt über den Vorwiderstand von 1,5 kΩ an der Batterie. Der dabei fließende Strom ist so gering, daß er zum Aufheizen des Glühfadens nicht ausreicht.

Läßt man den Tastenschalter los, dann können sich die Elkos erneut aufladen. Nach einigen Sekunden ist die gespeicherte Energie durch Tastendruck wieder zu entnehmen. Entfernt man einen der beiden Elkos, dann reicht die gespeicherte Energie des übrigbleibenden kaum mehr aus, um die Glühlampe bei der Entladung aufleuchten zu lassen. Das zeigt noch einmal, daß die gespeicherte Energie von der Kapazität des Kondensators abhängt.

Die Versuchsschaltung 32 entspricht in ihrem Aufbau einer auch in der Praxis vorkommenden Schaltung. Sie stellt das bekannte Lampen-Blitzgerät dar, wie es für fotografische Blitzlichtaufnahmen benutzt wird. An Stelle der gewöhnlichen Glühlampe tritt dort lediglich eine Speziallampe, deren Glühfaden durch die Entladung des Kondensators unter sehr starker Lichterscheinung verbrennt.



Der Aufladestrom bei einem Kondensator

Benutzt man das Anzeigeinstrument, dann lassen sich die Verhältnisse beim Auf- und Entladen eines Kondensators genau untersuchen. In die Schaltung wird zunächst nur ein Elko von 100 µF eingesetzt. Über das Anzeigeinstrument und einen Vorwiderstand von 100 kΩ verbindet man den Elko mit der Batterie. Parallel zum Elko ist über einen Schutzwiderstand von 120 Ω der Tastenschalter angeordnet. Würde man den Elko direkt über den Tastenschalter entladen, dann könnte durch den kurzzeitig auftretenden hohen Entladestrom der Tastenkontakt beschädigt werden. Eine Kondensatorenentladung sollte daher immer über einen zusätzlichen Widerstand erfolgen, wie er beispielsweise auch im Versuch 32 durch die Glühlampe verwirklicht wurde.

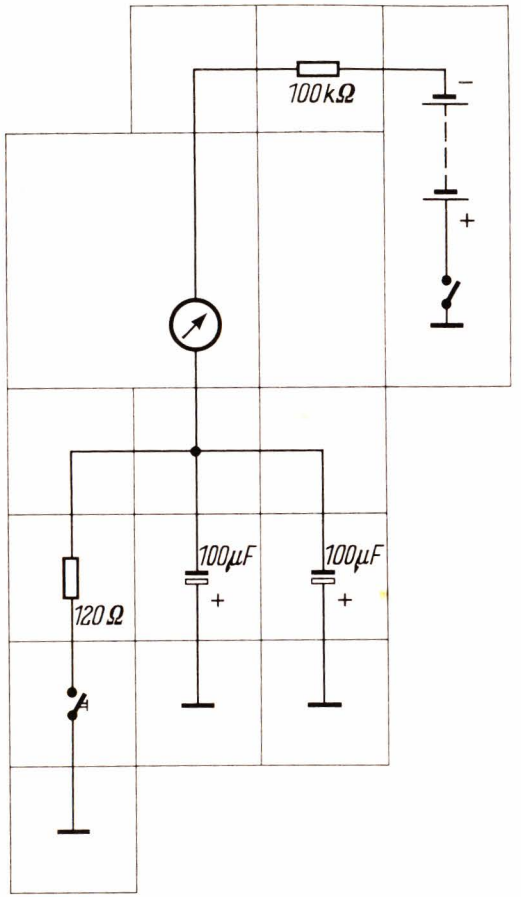
Der Versuch beginnt damit, daß der Tastenschalter gedrückt wird. Dadurch erreicht man eine vollkommene Entladung des Elkos, falls dieser von den vorhergehenden Versuchen noch eine Restladung haben sollte. Nun wird der Tastenschalter wieder losgelassen und anschließend die Batterie eingeschaltet. Dabei beobachtet man den Ausschlag des Anzeigeinstrumentes. Der Zeiger wird beim Einschalten der Batterie zunächst weit ausschlagen und dann langsam in seine Ruhelage zurückkehren. Nach etwa 30 Sekunden hat der Instrumentenzeiger den Nullpunkt auf der Skala wieder erreicht. Im Augenblick des Einschaltens war im Elko keine elektrische Energie gespeichert. Es hatte also noch viel Energie Platz. Der Elko stellte daher im Einschaltaugenblick einen Kurzschluß dar. Die von der Batterie gelieferte Energie konnte demzufolge anfangs sehr schnell in den Elko hineinfließen, was den zunächst sehr hohen Ausschlag des Anzeigeinstrumentes bewirkte. Der Einschaltstrom wird nur durch den Vorwiderstand von 100 kΩ und den Instrumenten-Eigenwiderstand begrenzt. Hat der Elko nun aber schon etwas Energie gespeichert, dann wird der Stromfluß geringer und damit der Ausschlag des Instrumentes kleiner. Mit fortschreitender Aufladung des Elko nimmt also der Aufladestrom langsam ab. Ist der Elko voll aufgeladen, dann kann kein Strom mehr fließen. Zwischen der Spannung an der Batterie und der Spannung am Elko besteht kein Unterschied mehr.

Nunmehr wird der Batterieschalter in die „Aus"-Stellung gebracht und einige Sekunden danach wieder eingeschaltet. Das Instrument wird jetzt nicht noch einmal ausschlagen, denn der Elko ist bereits geladen und hält die gespeicherte Energie. Entlädt man jedoch zwischendurch den Elko über den Tastenschalter, dann kann er sich beim erneuten Einschalten der Batterie wieder aufladen.

Dem bisher benutzten Elko legt man über die noch freie Abzweigung nun den zweiten 100 µF-Elko parallel. Wiederholt man den zuvor beschriebenen Versuch, dann braucht das Anzeigeinstrument etwa die doppelte Zeit, bis der Zeiger nach dem Vollausschlag wieder zum Nullpunkt zurückkehrt.

Verdoppelt man die Kapazität eines Kondensators, dann benötigt er unter sonst gleichbleibenden Voraussetzungen die doppelte Zeit, um sich aufladen zu können. Die gespeicherte Energie ist dann auch doppelt so groß.

Die Aufladezeit eines Kondensators wird jedoch nicht nur durch seine Kapazität bestimmt. Der zugehörige Vorwiderstand (beim Versuchsaufbau 100 kΩ) beeinflußt diese Zeit ebenfalls. Ein größerer Widerstand läßt nur einen geringeren Ladestrom zu, was zu einer längeren Aufladezeit führt. Umgekehrt bewirkt ein kleinerer Vorwiderstand eine kürzere Aufladezeit.

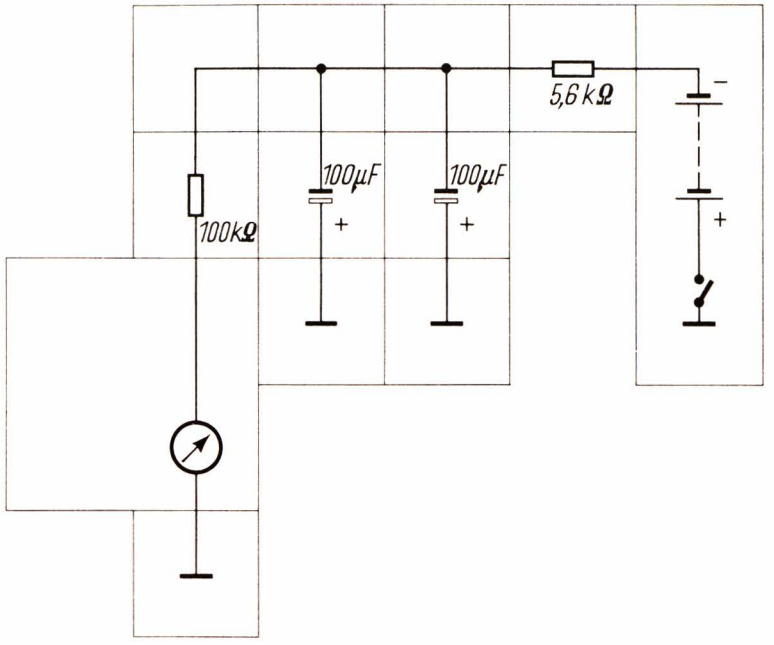


Der Entladestrom bei einem Kondensator

Die Vorgänge beim Entladen des Kondensators lassen sich feststellen, wenn man das Instrument parallel zum Kondensator anschließt. Das Instrument erhält hierzu wieder einen Vorwiderstand von 100 kΩ. Der vorgesehene Ladewiderstand in dieser Versuchsschaltung beträgt 5,6 kΩ. Schaltet man die Batterie ein, dann steigt die Spannung am Elko zunächst schnell und dann immer langsamer an, was durch den zunehmenden Ausschlag des Instrumentes angezeigt wird. Nach beendeter Aufladung nimmt der Zeigerausschlag nicht mehr zu.

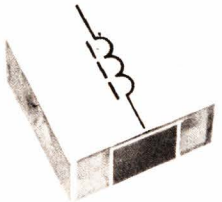
Jetzt wird die Batterie abgeschaltet. Der Elko kann sich nun über das Anzeigeinstrument und dessen Vorwiderstand entladen. Dabei zeigt das Instrument gleichzeitig die Abnahme der am Elko liegenden Spannung und den Verlauf des Entladestromes. Durch wechselweises Ein- und Ausschalten des Batterieschalters läßt sich der Versuch beliebig wiederholen. Beim Einschalten lädt sich der Elko auf, beim Ausschalten entlädt er sich wieder.

Die Versuche mit Kondensatoren haben gezeigt, daß ein Kondensator beim Anschluß an eine Batteriespannung zwar einen, je nach Kapazität, mehr oder weniger langen Ladestrom verursacht; sobald er geladen ist, hört der Stromfluß aber auf. Umgekehrt fließt bei der Entladung des Kondensators ein Entladestrom, der nach beendeter Entladung ebenfalls aufhört. Ein gleichmäßiger Stromfluß in einer Richtung, kurz gesagt ein Gleichstrom, ist über einen Kondensator nicht möglich. Lädt man den Kondensator aber wechselweise auf und entlädt ihn dann wieder, dann kommt bei jeder Umkehrung ein Stromfluß zustande. Die wechselweise Auf- und Entladung bedeutet für den Kondensator einen „Wechselstrom", für den er — wenn auch nur scheinbar — durchlässig ist. In späteren Versuchen wird das Verhalten des Kondensators bei Wechselstrom noch näher untersucht.



Der Spulenbaustein

Spulenstein

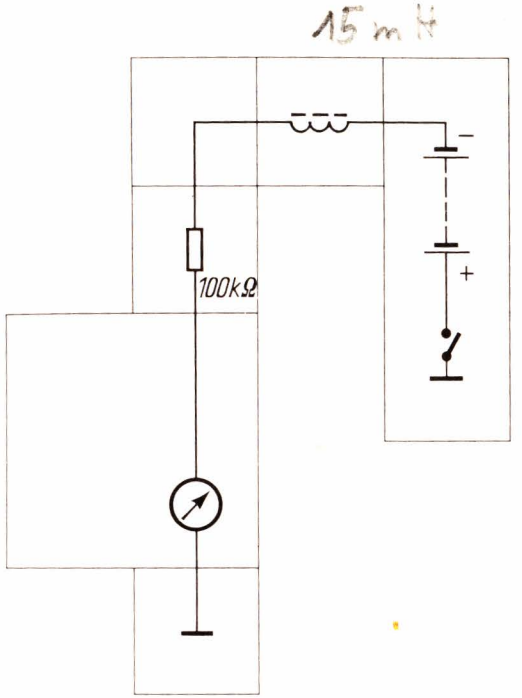


Bei der Grundform einer Spule wird ein Draht wendelförmig gewickelt, so daß sich eine zylindrische Spule ergibt. Für das Verhalten einer Spule im Stromkreis ist vor allem die Windungszahl entscheidend. Je mehr Windungen eine Spule hat, um so größer ist ihre sogenannte Induktivitat. Unter Induktivität versteht man in der Elektrotechnik das Verhalten einer Spule bei Veränderung des Stromflusses in ihr. So lange durch eine Spule ein Gleichstrom fließt, ist für den fließenden Strom nur der ohmsche Widerstand des Wicklungsdrahtes entscheidend.
Wird der Stromfluß durch eine Spule plötzlich unterbrochen oder in ständig wechselnder Richtung geführt, wirkt sich die Induktivität der Spule im Stromkreis aus. Wird eine Spule gleicher Windungszahl auf einen Eisenkern gewickelt, so ist ihre Induktivität größer. Auch Form und Struktur des Kernes beeinflussen die Induktivität.
Die Maßeinheit für die Induktivität ist das Henry, abgekürzt H. Als Untereinheit gelten das Millihenry (mH) = ein tausendstel Henry und das Mikrohenry (μH) = ein millionstel Henry.
Das Verhalten einer Spule im Gleichstromkreis zeigt der folgende Versuch. Spätere Versuche zeigen das unterschiedliche Verhalten im Wechselstromkreis.

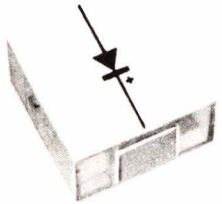
Das Verhalten einer Spule im Gleichstromkreis

Experiment 35

Das Anzeigeinstrument, ein Vorwiderstand von 100 kΩ und die Spule liegen in Reihe an der Batteriespannung. Schaltet man die Batterie ein, dann zeigt das Instrument einen Stromfluß an, der sich auch nach längerem Einschalten nicht ändert. Die Spule ist also für Gleichstrom durchlässig.



Der Diodenbaustein

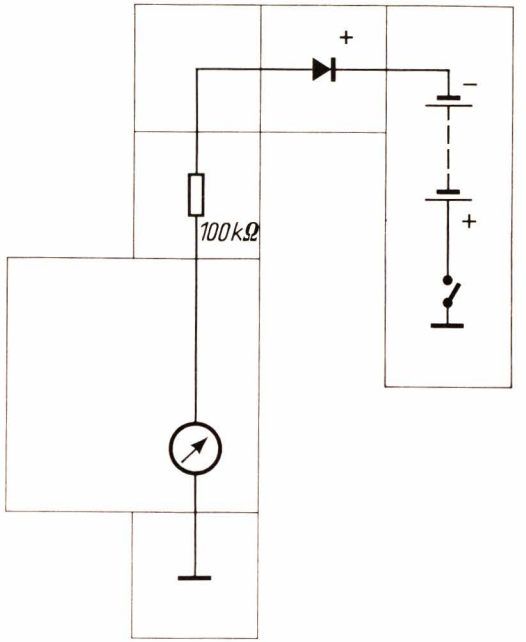


In den bisherigen Versuchen war von Bauelementen die Rede, die entweder einen Stromfluß ermöglichen (das sind die Leiter) oder die einen Strom sperren (Nichtleiter, Isolatoren). Es gibt jedoch noch eine dritte Gruppe, die sogenannten Halbleiter. Deren Leitfähigkeit ist von verschiedenen äußeren Bedingungen abhängig. Zunächst soll das Verhalten der im Diodenbaustein eingebauten Germaniumdiode untersucht werden. Das Germanium, aus dem die Diode aufgebaut ist, stellt ein besonderes Material dar, das durch entsprechende Behandlung die gewünschten Halbleiter-Eigenschaften erhält.

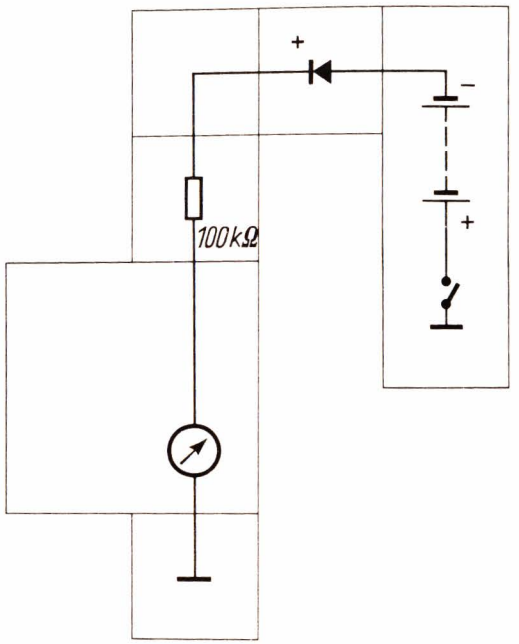
Der Durchlaßstrom bei einer Halbleiterdiode

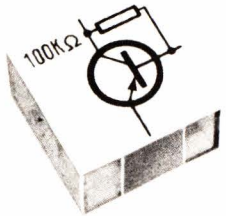
Experiment 36

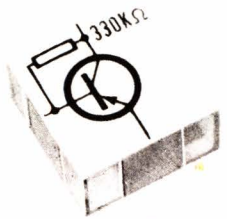
An der Batteriespannung liegen die Germaniumdiode, ein Widerstand von 100 kΩ und das Anzeigeinstrument in Reihe. Wichtig ist die richtige Polarität der Diode, d. h. die Spitze des Dreiecks beim Schaltsymbol mit dem Pluszeichen muß zur Batterie zeigen. Bringt man den Batterieschalter in die „Ein"-Stellung, dann zeigt das Instrument einen Ausschlag bis etwa zum Skalenwert 9. Zur Kontrolle entfernt man jetzt die Diode und setzt an ihrer Stelle ein gerades Verbindungsstück ein, so daß der Stromkreis wieder geschlossen ist. Der Anzeigewert am Instrument wird der gleiche sein. In der gezeichneten Polung bildet die Diode keinen nennenswerten Widerstand. Sie arbeitet in Durchlaßrichtung.



Diese Schaltung entspricht fast der vorhergehenden. Lediglich die Germaniumdiode ist mit entgegengesetzter Polarität in die Schaltung eingesetzt, d. h. die Spitze des Dreiecks zeigt zum Widerstand hin. Das Instrument schlägt dann beim Einschalten der Batterie nicht aus. In dieser Polung, der sogenannten Sperrrichtung, hat die Diode einen sehr großen Widerstand. Die Versuche 36 und 37 zeigen, daß der Widerstand einer Diode von der Polarität (der Richtung) der angelegten Spannung abhängig ist. In manchen Beschreibungen findet man für die Diode auch die Bezeichnung „Richtleiter".







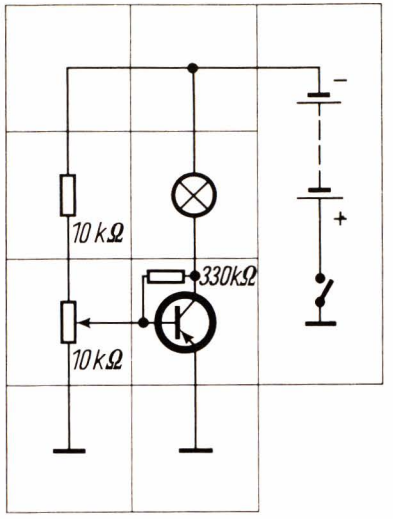
Transistoren gehören ebenfalls in die Gruppe der Halbleiter. Wie bei der Diode, so dient auch für die im Lectron-Experimentierkasten enthaltenen Transistoren Germanium als Ausgangsmaterial. Während die Diode aber nur zwei Anschlüsse aufwies, besitzt der Transistor mindestens drei. Sie werden mit Kollektor, Emitter und Basis bezeichnet. Für einige Transistoren kommt noch eine Abschirmung hinzu. Die Lectron-Baukästen enthalten verschiedene Transistorbausteine, in die neben den Transistoren jeweils noch ein Widerstand eingebaut ist. Dessen Funktion wird später näher erklärt. In geeigneten Schaltungen wirkt der Transistor als verstärkendes Bauelement, d. h. eine kleine zugeführte Leistung kann durch einen Transistor in eine größere Leistung umgewandelt werden.

Der Transistor läßt sich in drei verschiedenen Grundschaltungen verwenden, wobei er sich jedesmal anders verhält. Die Grundschaltungen heißen Emitter-, Basis- und Kollektorschaltung. In den meisten Fällen setzt man den Transistor in der Emitterschaltung ein, die daher an erster Stelle behandelt werden soll. In jeder Schaltung hat der Transistor einen Eingang, dem die zu verstärkende elektrische Größe zugeführt wird, und einen Ausgang, dem man sie verstärkt wieder entnimmt. In der Emitterschaltung bilden der Basis- und der Masseanschluß den Eingangskreis. Der Ausgangskreis wird durch den Kollektor- und den Masseanschluß dargestellt.

Nachweis der Steuerbarkeit eines Transistors

Mit dem Versuchsaufbau 38 soll zunächst gezeigt werden, daß sich der Ausgangskreis eines Transistors durch Änderung der Eingangsgröße beeinflussen läßt. Verwendet wird der Transistorbaustein mit dem eingebauten Widerstand von 330 kΩ, der die für die Versuchsdurchführung erforderliche Leistung übertragen kann.

Dem Eingangskreis wird über den Spannungsteiler eine stetig regelbare Spannung zugeführt. Damit der Transistor im Eingangskreis nicht überlastet werden kann, ist der Potentiometerbaustein in Reihe mit einem Festwiderstand von 10 kΩ angeordnet. Dadurch wird verhindert, daß die Basis an die volle Batteriespannung gelegt werden kann. Der Emitter des Transistors liegt an Masse, der Kollektor über den Glühlampenbaustein am Minuspol der Batterie. Vor dem Einschalten der Batterie ist das Potentiometer so einzustellen, daß sein Schleifkontakt am linken Anschlag steht. Schaltet man die Batterie ein, dann wird die Glühlampe zunächst nicht aufleuchten. Nun dreht man das Potentiometer langsam durch. Die Glühlampe wird dann bald erst dunkel und dann immer heller brennen. Bei großer Helligkeit sind Glühlampe und Transistor bis zur Grenze belastet, daher darf man große Helligkeit nur kurzzeitig einstellen. Durch Zurückdrehen des Potentiometers kann man die Lampe wieder zum Verlöschen bringen. Indem man die Spannung am Eingang des Transistors ändert, verursacht man also auch eine Änderung im Ausgangskreis. Der Ausgangswert läßt sich durch die Eingangsspannung steuern, deshalb wird die Eingangsgröße auch als Steuerspannung bezeichnet.



In den folgenden Versuchen sollen zunächst Wechselspannungen verstärkt werden. Der Begriff Wechselstrom bzw. Wechselspannung tauchte bereits bei dem Versuch 34, der die Verhältnisse beim Auf- und Entladen eines Kondensators erklärte, auf. Allerdings handelte es sich dabei noch nicht um einen echten Wechselstrom bzw. Wechselspannung, denn die angelegte Batteriespannung wurde ja nur immer ein- und ausgeschaltet. Bei einer richtigen Wechselspannung wird dagegen die Polarität ständig umgekehrt, d. h. an der Stelle, wo erst der Minuspol war, erscheint jetzt der Pluspol und umgekehrt.

Liegt an einem Stromkreis eine Wechselspannung an, dann ist auch der Strom ein Wechselstrom, denn er kehrt seine Flußrichtung ständig um. Für die Wechselspannung bzw. den Wechselstrom tritt nun ein neuer Begriff auf, die Frequenz. Darunter versteht man die Häufigkeit der Umschaltvorgänge in der Sekunde. Man spricht von Schwingungen pro Sekunde. Die Maßeinheit für die Frequenz ist das Hertz, abgekürzt Hz. Der sogenannte technische Wechselstrom, wie er der Steckdose entnommen wird, hat eine Frequenz von 50 Hz, d. h. seine Polarität wechselt fünfzigmal in der Sekunde hin und her. Für die mit dem Experimentierkasten möglichen Versuche sind noch die Untereinheiten Kilohertz (kHz) = 1000 Hz und Megahertz (MHz) = 1 000 000 Hz wichtig.

In der Beschreibung des Spulenbausteines zum Versuch 35 wurde auf den Begriff Induktivität hingewiesen. Der Versuch zeigte, daß eine Spule für Gleichspannung nur einen geringen ohmschen Widerstand darstellt. Ein mit Draht umwickelter Eisenkern wird aber magnetisch, wenn die Spule von Gleichstrom durchflossen wird. Die Magnetisierungsrichtung (Nord — Süd) ändert sich jedoch, wenn der Stromfluß in der Spule geändert wird. Bei jeder Änderung des Stromflusses baut sich so die Magnetisierung im Eisenkern auf und wieder ab. Es entsteht im Eisen eine Induktion entsprechend dem Stromfluß in der Spule.

Der umgekehrte Vorgang ereignet sich jedoch, wenn eine zweite Spule auf den gleichen Eisenkern gewickelt ist. Der im wechselnden Rhythmus magnetisierte Eisenkern induziert in der zweiten Spule eine Spannung, die sich im gleichen Takt des Stromflusses in der ersten Spule auf- und abbaut. Es wird eine Wechselspannung transformiert. Haben beide Spulen die gleiche Windungszahl, dann ist auch die übertragene Spannung in der zweiten Wicklung gleich der Spannung in der ersten Wicklung. Ist die Windungszahl der ersten, der Primärwicklung, größer als die Wicklungszahl der zweiten, der Sekundärwicklung, dann ist die übertragene Spannung kleiner. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist der Klingeltransformator, der die Netzspannung von 220 Volt auf etwa 5 Volt heruntertransformiert, womit die Hausklingel betrieben wird. Hat jedoch die Sekundärwicklung eine höhere Windungszahl als die Primärwicklung, dann ist die übertragene Spannung höher.

Allerdings verhalten sich die Ströme, die man einem Transformator entnehmen kann, umgekehrt wie die Spannungen. Bei höherer Spannung kann nur ein kleinerer Strom entnommen werden, oder umgekehrt. Eine verstärkende Wirkung hat der Transformator also nicht, er wandelt die elektrische Größe nur um.

In einem bestimmten Frequenzbereich, von etwa 16 Hz bis 18 kHz, läßt sich ein Wechselstrom durch elektroakustische Wandler für das menschliche Ohr hörbar machen.

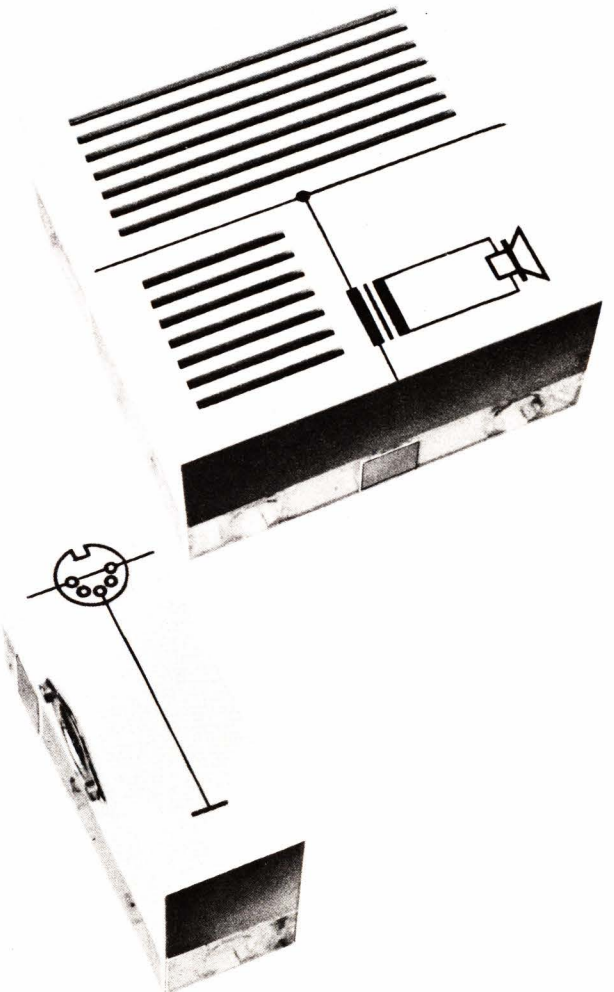
Man bezeichnet diesen Frequenzbereich als Tonfrequenz. Der wohl bekannteste elektroakustische Wandler ist der Lautsprecher. Der Aufbaukasten I ist mit einem Lautsprecher ausgerüstet. Die wesentlichen Bestandteile eines Lautsprechers sind ein starker Magnet, eine Schwingspule und eine Membran. Läßt man durch die Schwingspule einen Wechselstrom fließen, dann bewegt sie sich im Takte des Wechselstromes und mit ihr die fest damit verbundene Membran. Die umgebende Luft wird dadurch ebenfalls bewegt und es entstehen Schallwellen. Je tiefer die Frequenz des Wechselstromes, um so langsamer sind auch die Bewegungen der Membran und um so tiefer ist der erzeugte Ton. Je höher die Wechselstromfrequenz, um so schneller die Bewegungen und um so höher der Ton.

Der Lautsprecherbaustein

Mit dem Lautsprecher lassen sich die in den folgenden Versuchen erzeugten oder verstärkten Wechselspannungen hörbar machen. Der Lautsprecherbaustein ist der größte im Experimentierkasten enthaltene Baustein. Er hat eine Grundfläche von neun normalen Bausteinen. Die Deckplatte des Lautsprecherbausteines ist geschlitzt, damit der erzeugte Schall austreten kann. Neben dem eigentlichen Lautsprecher enthält der Baustein noch einen Transformator. Er hat die Aufgabe, den Lautsprecher an den Verstärker anzupassen. Da er immer nur im Zusammenhang mit dem Lautsprecher benutzt wird, sind beide Teile im Inneren verbunden. Nur die Eingangsseite des Lautsprechertransformators ist an Kontaktplättchen des Bausteines geführt, wobei der eine Anschluß mit zwei gegenüberliegenden Kontaktplättchen verbunden ist. Dadurch wird der spätere Schaltungsaufbau vereinfacht.

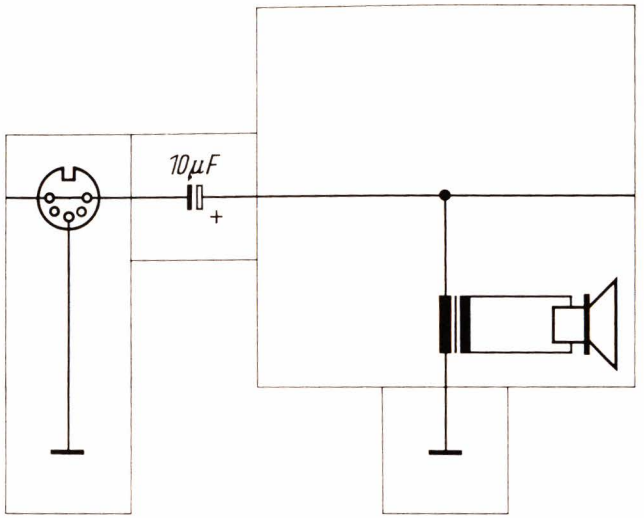
Die Tonabnehmer-Buchse

Für die ersten einfachen elektroakustischen Versuche soll ein Plattenspieler als Wechselspannungsquelle verwendet werden. Um diesen mit den Bauelementen des Experimentierkastens zu verbinden, ist der Buchsenbaustein vorgesehen. Er trägt eine genormte, dreipolige Eingangsbuchse, die für den Anschluß jedes modernen Plattenspielers geeignet ist.



Der Lautsprecher als elektroakustischer Wandler

Die Eingangsseite des Lautsprecherbausteins wird mit der Tonabnehmerbuchse verbunden. Das noch freie Ende des Transformators ist an Masse zu legen. Schließt man an die Tonabnehmerbuchse einen Plattenspieler an und setzt diesen in Betrieb, dann wird man die vom Tonabnehmer kommenden Wechselspannungen, je nach Typ des verwendeten Plattenspielers, nur sehr schwach als Töne im Lautsprecher wahrnehmen können. Ohne Verstärkung ist die vom Tonabnehmer abgegebene Wechselspannung so gering, daß sie den Lautsprecher nur ganz schwach erregt.
Für die Wiedergabe der Tonfrequenz-Wechselspannung ist eine Verstärkung der vom Tonabnehmer abgegebenen Wechselspannung notwendig.



Die Verstärkung von Wechselspannungen und Wechselströmen

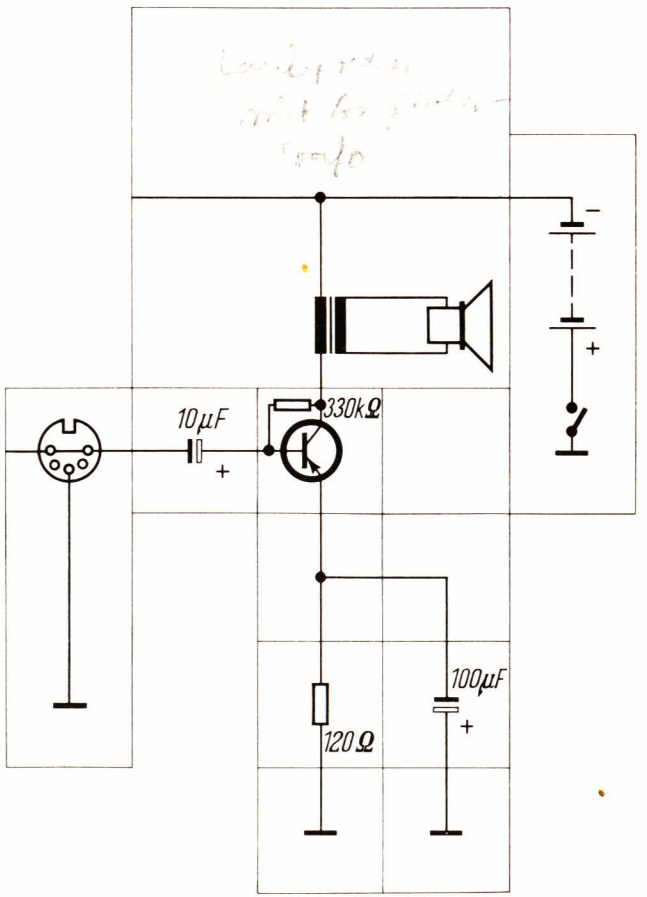
Will man eine Wechselspannung verstärken, muß man beachten, daß diese ihre Polarität ständig umkehrt. Der Transistor benötigt aber immer eine gegenüber Masse negative Spannung an der Basis (Eingang). Der positive Teil der Wechselspannungsschwingung würde demnach von dem Transistor nicht verstärkt. Nun kann man aber dem Transistor zusätzlich zur Wechelspannung eine negative Gleichspannung an der Basis zuführen. Wählt man die Spannungen richtig zueinander, dann wird der Eingang (die Basis) niemals negativ gegenüber der Masseleitung, sondern schwankt nur im Takt der Wechselspannung um den vorgegebenen negativen Gleichspannungswert herum. Die dazu benötigte Gleichspannung bekommen die im Experimentierkasten enthaltenen Transistoren über den in jedem Transistorbaustein eingebauten Widerstand zwischen Kollektor (Ausgang) und Basis. Der Widerstandswert ist so gewählt, daß bei den durchzuführenden Versuchen mit Wechselspannungsverstärkern die Spannung an der Basis immer negativ gegenüber Masse bleibt. Die Arbeitsweise des Transistors wird in den späteren Versuchen 51—54 ausführlich behandelt.

Ein einstufiger Plattenspieler-Verstärker

Die Eingangsseite des Lautsprechertransformators wird hier als Arbeitswiderstand des Transistors mit Widerstand 330 kΩ benutzt. Im Gegensatz zu den bisherigen Transistorversuchen ist bei dieser Schaltung zusätzlich noch ein Widerstand von 120 Ω zwischen Emitter und Masse vorgesehen. Für den Wechselstrom ist dieser Widerstand aber durch einen großen Elko von 100 µF überbrückt. Daher handelt es sich immer noch um eine Emitterschaltung. Der 120 Ω Widerstand sorgt jedoch für ein stabileres Verhalten des Transistors und begrenzt den möglichen Strom, so daß der Transistor nicht überlastet werden kann. Durch den 330 kΩ Widerstand erhält der Transistor die notwendige Basisvorspannung.

Würde man den Plattenspieler unmittelbar an die Basis des Transistors anschließen, dann würde sich durch den Eigenwiderstand des Tonabnehmers die Basisgleichspannung verstellen. Um das zu vermeiden, wird zwischen Buchsenbaustein und Eingang des Transistors ein Elko von 10 µF eingefügt. Er überträgt die vom Plattenspieler kommende Wechselspannung, sperrt aber die an der Basis liegende Gleichspannung. Setzt man nun den Plattenspieler in Betrieb und schaltet die Batterie ein, dann kann man im Lautsprecher die vom Tonabnehmer kommenden Wechselspannungen hören. Die Lautstärke ist dabei allerdings noch verhältnismäßig gering, denn die Verstärkung des einen Transistors reicht für eine lautstarke Wiedergabe der Schallplatte nicht aus. Da bei dieser Schaltung nur ein Transistor mit den zugehörigen Bauelementen verwendet wird, spricht man von einem einstufigen Verstärker. Weil die verstärkte Spannung im Tonfrequenzgebiet (Niederfrequenzgebiet) liegt, bezeichnet man den Aufbau als einstufigen Niederfrequenzverstärker.

Selbstverständlich kann man eine Spannung, die durch einen Transistor bereits einmal verstärkt, aber noch zu schwach ist, durch einen weiteren Transistor nochmals verstärken. Es ist dann lediglich der Ausgang der ersten Verstärkerstufe mit dem Eingang einer zweiten Stufe zu verbinden.



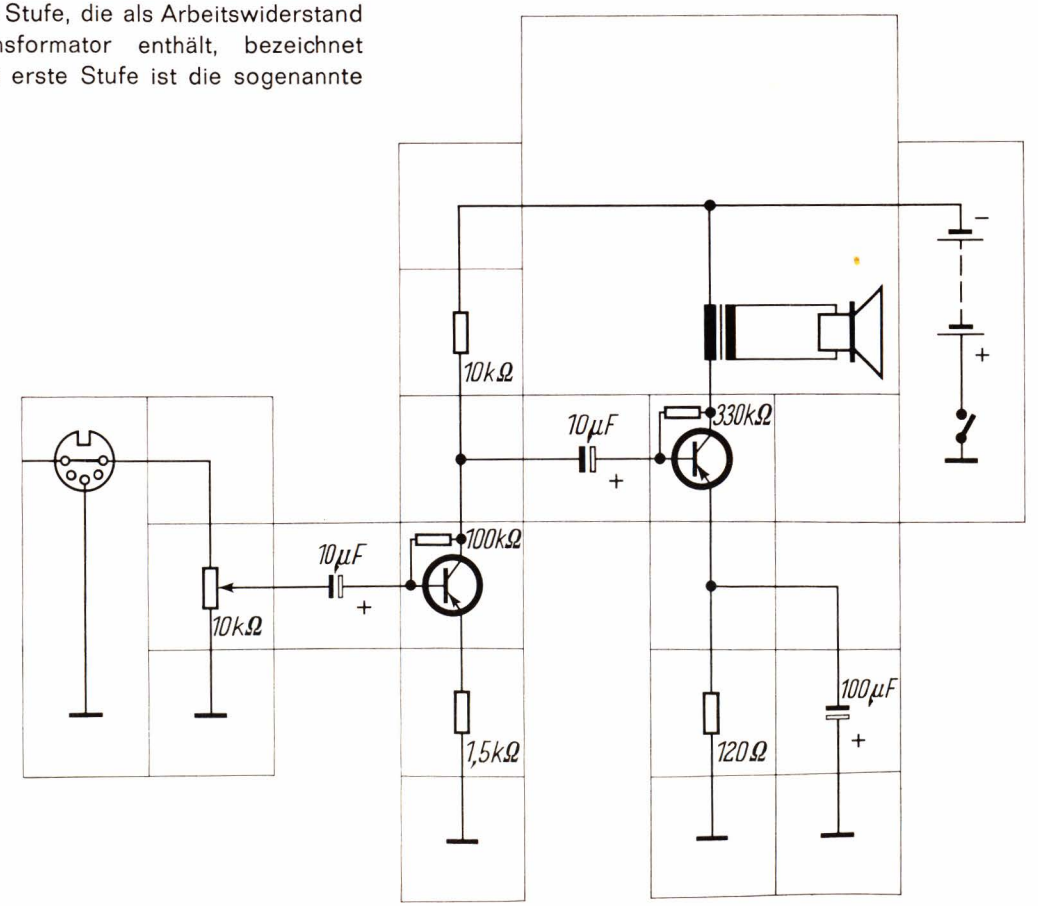
Ein zweistufiger Plattenspieler-Verstärker mit regelbarer Lautstärke

Diese Schaltung enthält zunächst wieder die gleichen Bauteile, die schon im Versuchsbild 40 verwendet wurden. Der Lautsprecherbaustein ist auch hier wieder im Kollektorkreis des Transistors mit 330 kΩ Widerstand angeordnet. Zusätzlich enthält die Schaltung aber eine zweite Verstärkerstufe mit dem Transistor 100 kΩ. Auch in diesem Falle hat man es wieder mit einer Emitterschaltung zu tun, denn die Ausgangsspannung wird zwischen Kollektor und Masse abgenommen. Als Kollektorwiderstand (Arbeitswiderstand) verwendet man 10 kΩ. Über den im Transistorbaustein eingebauten 100 kΩ Widerstand erhält der Transistor die erforderliche Basisvorspannung. Zwischen Emitter und Masse dieses Transistors ist ein Widerstand von 1,5 kΩ eingefügt, um den Transistor nicht zu übersteuern.

Um den Ausgang des ersten Transistors mit dem Eingang des zweiten Transistors zu verbinden, benutzt man einen Elko von 10 µF. Da die Stufen an dieser Stelle „gekoppelt" werden, nennt man den Kondensator Koppelkondensator. Auf richtige Polung des Elkos ist wieder zu achten! Würde man die beiden Punkte direkt durch eine Leitung verbinden, dann würden sich die Gleichspannungen am Kollektor der ersten und der Basis der zweiten Stufe unzulässig verschieben, und der Verstärker könnte nicht arbeiten. Der Kondensator sperrt jedoch die Gleichspannung, läßt aber die Wechselspannung ungehindert durch.

Die vom Plattenspieler kommende Wechselspannung gelangt über die Tonabnehmerbuchse zunächst zum Potentiometer. Auf diese Weise hat man die Möglichkeit zu einer Spannungsteilung. Steht der Schleifer des Potentiometers ganz am linken Anschlag, dann wird am Eingang des Verstärkers keine Wechselspannung auftreten. Am anderen Ende des Potentiometers dagegen kann man die volle vom Plattenspieler kommende Spannung abgreifen. Das Potentiometer bildet somit einen Lautstärkeregler. Um die Basisgleichspannung des ersten Transistors nicht durch den ohmschen Widerstand des Potentiometers zu beeinflussen, ist auch hier ein Elko von 10 µF zwischengeschaltet.

Die fertige Schaltung 41 bildet einen vollwertigen Plattenspieler-Verstärker, mit dem die vom Tonabnehmer kommende Wechselspannung in guter Zimmerlautstärke hörbar gemacht werden kann. Da es sich um zwei Verstärkerstufen handelt, nennt man die komplette Schaltung einen zweistufigen Niederfrequenz-Verstärker. Die zweite Stufe, die als Arbeitswiderstand den Lautsprechertransformator enthält, bezeichnet man als Endstufe, die erste Stufe ist die sogenannte Vorstufe.



Die hier gezeigten Experimente 21–50 können mit dem Lectron Ausbausystem 1 ausgeführt werden. Ausbausystem 1 S enthält zusätzlich die Kartei Elektrik II – Versuche Nr. 11.33 bis 11.57 mit Aufgaben und Antworten zur Thematik „elektronische Bauelemente". Diese Kartei (Bezeichnung 1101) kann auch einzeln erworben werden.

Auszüge aus den Karteien 1100 Elektrik I (Grundsystem S) und 1101 Elektrik II (Ausbausystem 1 S)

11.06 Widerstand im Stromkreis
11.07 Reihenschaltung von Widerständen
11.10 Leitfähigkeit verschiedener Stoffe
11.11 Das Meßgerät als Voltmeter

11.13 Das Meßgerät als Amperemeter
11.14 Das Ohm'sche Gesetz
11.27 Der Transistor als Schalter
11.28 Der Transistor als Verstärker

11.41 Brückenschaltung
Meßbrücke für Ohm'sche Widerstände
11.44 Kennlinie einer Halbleiterdiode
11.45 Der Heißleiter – ein temperaturabhängiger Widerstand
11.47 Der Photowiderstand
11.55 Analoge und digitale Signale und Systeme
11.57 Digitale Grundschaltungen

Die Erzeugung von Wechselspannungen mit Transistorschaltungen

Wechselspannungen lassen sich auf verschiedene Art auch in Transistorschaltungen erzeugen. Solche Schaltungen heißen Generatoren oder Oszillatoren. Die bisherigen Transistorversuche haben die Verstärkereigenschaften deutlich gezeigt. Am Ausgang des Transistors steht immer eine größere Spannung oder ein größerer Strom zur Verfügung, als man dem Eingang zuführt. Nun kann man die Ausgangsspannung bzw. den Ausgangsstrom auch wieder an den Eingang zurückführen. Man erhält dann eine sogenannte Rückkopplung. Allerdings darf man nicht einfach Ausgang und Eingang des Transistors direkt miteinander verbinden, sondern man muß geeignete Koppelglieder zwischenschalten. Ein besonders einfacher Wechselstromgenerator läßt sich mit Kondensatoren und Widerständen als Rückkopplungsglieder aufbauen. Da man einen Widerstand kurz mit dem Buchstaben R und einen Kondensator mit dem Buchstaben C bezeichnet, nennt man solche Schaltungen RC-Generatoren.

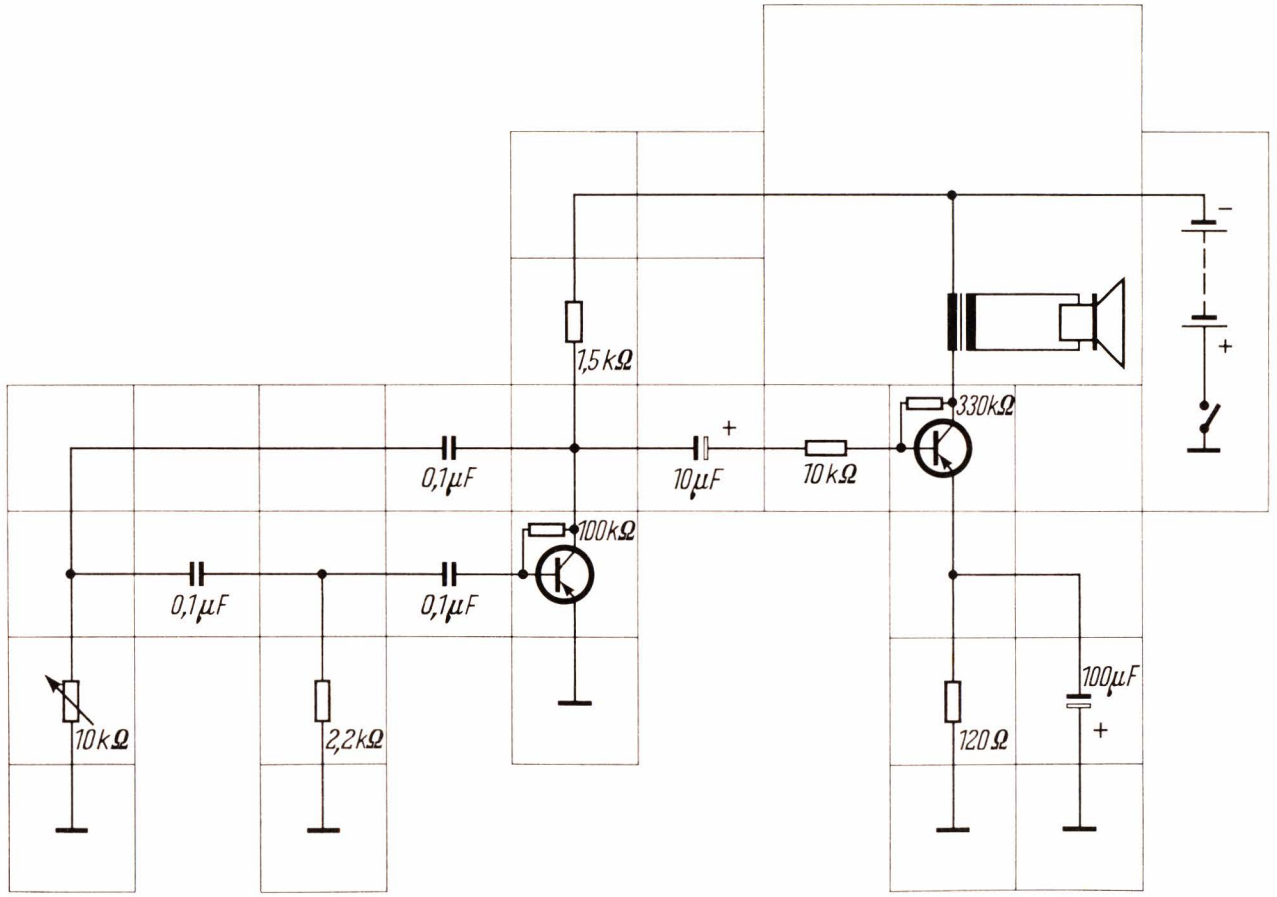
Ein einfacher Tongenerator

Der linke Teil der Versuchsschaltung 42 bildet den eigentlichen Generator. Der erste Transistor arbeitet in Emitterschaltung. Der Arbeitswiderstand ist 1,5 kΩ. Im Versuch 38 wurde bereits festgestellt, daß sich bei dieser Schaltung die Ausgangsspannung umgekehrt verhält wie die Eingangsspannung. Die Polarität wird umgekehrt. Würde man daher die Ausgangsspannung unmittelbar auf den Eingang zurückführen, dann wäre keine zur Wechselspannungserzeugung brauchbare Rückkopplung möglich, denn dazu müssen sich die Spannungen unterstützen. Entgegengesetzte Spannungen aber heben sich auf. Nun haben aber die Versuche 33 und 34 gezeigt, daß man mit einem Kondensator einen langsamen Spannungsanstieg erzielen kann. Legt man einen Kondensator über einen Widerstand an eine Spannung, dann braucht er eine gewisse Zeit, um sich aufzuladen. Er verzögert gewissermaßen den Spannungsanstieg. Das gilt nicht nur für Gleichspannungen, sondern auch für Wechselspannungen. Diese Eigenschaft des Kondensators benutzt man bei dem vorliegenden Generator. Durch Kondensatoren und Widerstände wird die Ausgangsspannung dieses Transistors soweit verzögert, daß sie der Eingangsspannung in ihrer Polarität wieder entspricht. Die Polarität wird also, nachdem sie durch den Transistor bereits einmal umgekehrt worden ist, durch die Kondensatoren und Widerstände noch einmal gedreht. Das ist allerdings nicht mit einem einzigen Kondensator möglich. In dieser Versuchsschaltung sind drei Kondensatoren von je 0,1 μF und zwei Widerstände — ein Festwiderstand von 2,2 kΩ und ein Regelwiderstand von 10 kΩ — vorgesehen.

Erhält dieser Transistor einen Stromstoß am Eingang, der zum Beispiel bereits durch das Einschalten der Batterie erfolgen kann, dann wird dieser Stromstoß verstärkt und über die Kondensatoren und Widerstände wieder auf den Eingang zurückgeführt, wieder verstärkt und wieder zurückgeführt. Dadurch schaukelt sich die Schaltung auf und es entstehen Schwingungen (Wechselspannung). Die Frequenz dieser Wechselspannung ist davon abhängig, wie groß die zur Rückkopplung verwendeten Widerstände und Kondensatoren sind. Da einer dieser Widerstände hier regelbar ist, läßt sich die Frequenz in gewissen Grenzen ändern. Dreht man den Regelwiderstand auf einen zu kleinen Wert, dann hören die Schwingungen jedoch auf. Mit den angegebenen Teilen erhält man Frequenzen im hörbaren Bereich. Man spricht von einem „Tonfrequenzgenerator". Durch andere Widerstände und Kondensatoren könnte man auch Frequenzen außerhalb des hörbaren Bereiches erzeugen.

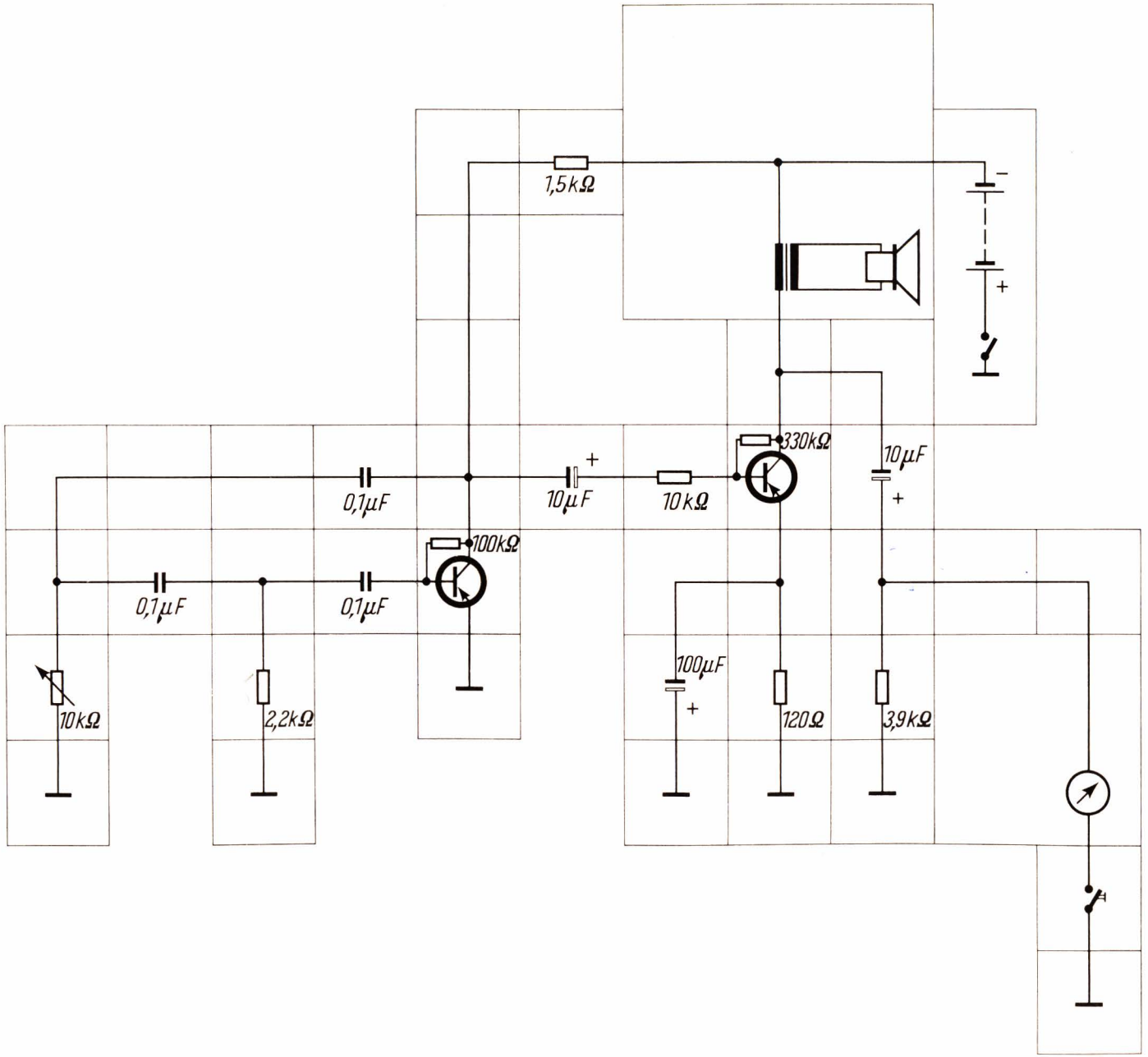
Die im bisher beschriebenen Teil der Schaltung erzeugte Wechselspannung wird über einen Koppelkondensator von 10 μF und einen Widerstand von 10 kΩ mit dem Eingang der schon in den letzten Versuchen verwendeten Endstufe verbunden. Im Lautsprecher kann man die Schwingungen des Generators hören und durch Drehen am Regelwiderstand die Tonhöhe verändern.

Mit dem Tonfrequenzgenerator besitzt man jetzt eine Wechselstromquelle. Damit lassen sich noch einige Versuche durchführen, die zu neuen Erkenntnissen führen.


1,5 kΩ
330kΩ
0,1µF
10µF
10 kΩ
100kΩ
0,1µF
0,1µF
10kΩ
2,2kΩ
120Ω
100µF

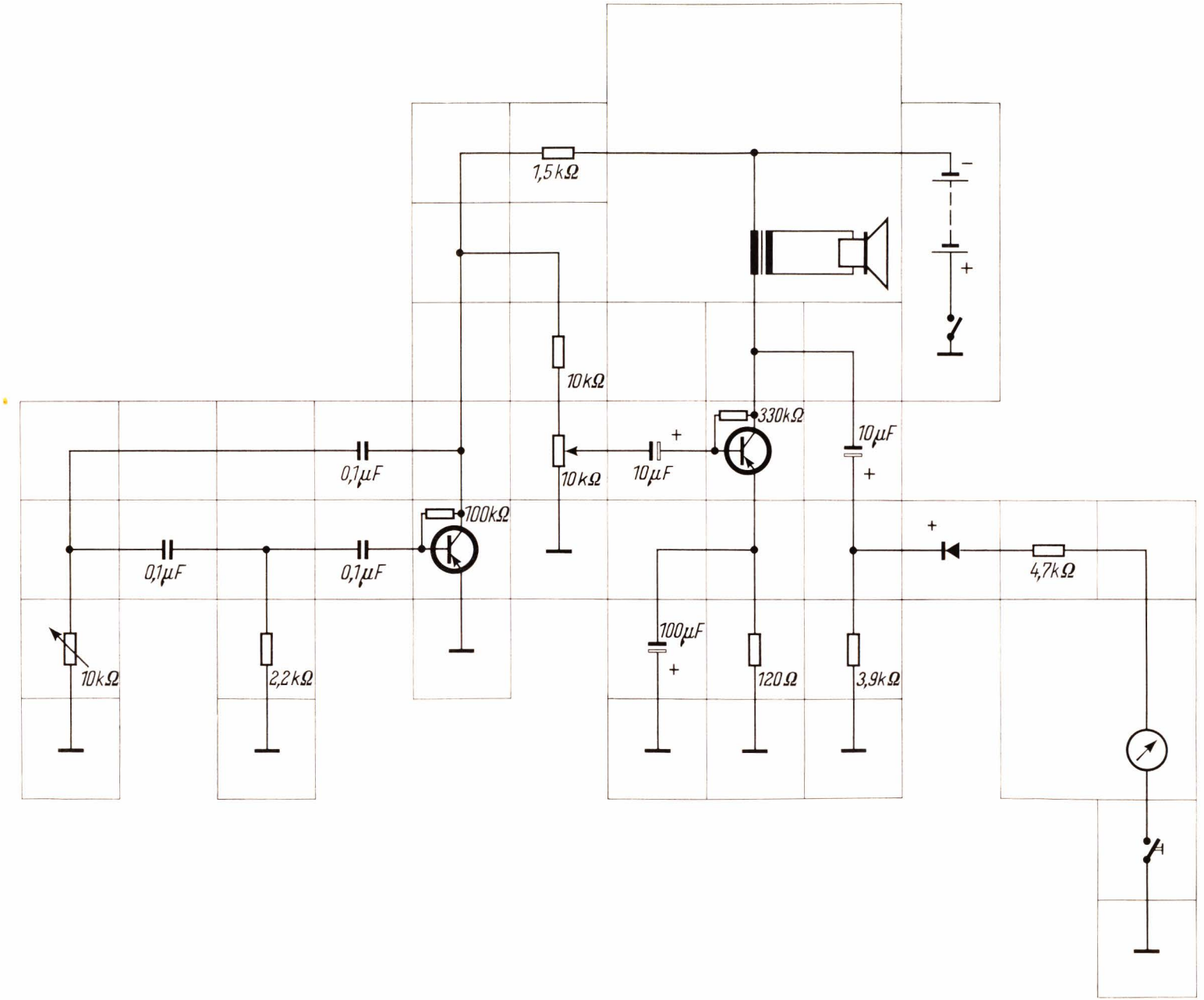
Die Wirkung einer Wechselspannung beim Anzeige-Instrument

Die Schaltung des Tonfrequenzgenerators entspricht vollkommen der des Versuches 42. Um die Ausgangs-Wechselspannung des Generators abgreifen zu können, ist lediglich noch ein Abzweigungsbaustein zwischen den Kollektor des zweiten Transistors (Endstufe) und den Lautsprecherbaustein einzufügen. Außerdem werden das Anzeigeinstrument und einige andere Bauteile hinzugefügt.
Zunächst wird die Ausgangsspannung des Verstärkers über einen Elko von 10 µF einem Widerstand von 3,9 kΩ zugeführt. An diesem Widerstand läßt sich jetzt die reine Wechselspannung ohne die Batteriegleichspannung abnehmen. Schließt man parallel zum Widerstand über den Tastenschalter das Anzeigeinstrument an, dann wird dieses bei arbeitendem Generator nicht ausschlagen, wenn man die Taste drückt. Man darf den Tastenschalter aber erst dann betätigen, wenn der Generator bereits arbeitet, d. h. wenn die Batteriespannung eingeschaltet ist. Andernfalls würde durch den hohen Ladestromstoß des 10 µF Elkos das Instrument stark ausschlagen und evtl. beschädigt werden. Die Wechselspannung kehrt aber ihre Polarität ständig um, d. h. der Zeiger müßte dann eigentlich immer hin und her schwanken. Bei den vom Generator erzeugten Tönen ist die Frequenz aber so hoch, daß der Instrumentenanzeiger dem schnellen Wechsel nicht mehr folgen kann. Er schlägt daher überhaupt nicht aus. Das Drehspulinstrument ist also zum unmittelbaren Messen als Wechselspannungs- bzw. Wechselstromanzeiger nicht brauchbar.


1,5kΩ
0,1µF
10µF
10kΩ
330kΩ
10µF
100kΩ
0,1µF
0,1µF
10kΩ
2,2kΩ
100µF
120Ω
3,9kΩ

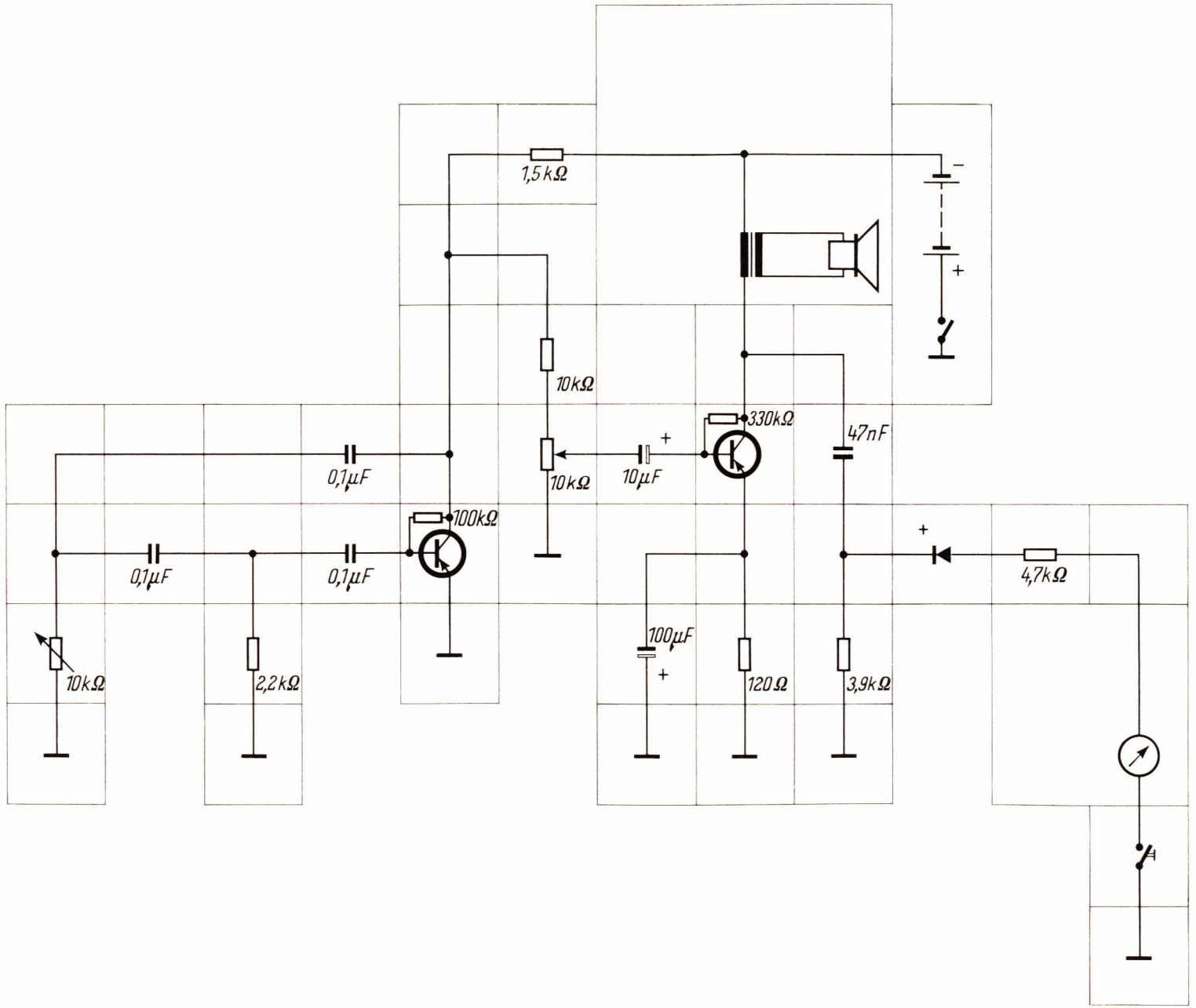
Gleichrichtung einer Wechselspannung mit der Diode

Auch für diesen Versuch kann man den gleichen Schaltungsaufbau des Tonfrequenzgenerators verwenden. Zur Regelung der Ausgangs-Wechselspannung ist jedoch noch der Potentiometerbaustein vorgesehen. Zwischen den Widerstand von 3,9 kΩ und das Anzeigeinstrument ist hier die Diode geschaltet. Die Versuche 36 und 37 haben schon gezeigt, daß die Diode einen Strom nur in einer Richtung, der Durchlaßrichtung, fließen läßt. Das Instrument erhält also in dieser Schaltung nur einen Strom in der gewünschten Polarität. Drückt man jetzt bei arbeitendem Generator die Taste, dann schlägt das Instrument aus. Damit die Anzeige nicht zu hoch wird, ist am Instrument noch ein Vorwiderstand von 4,7 kΩ vorgesehen. Das Instrument zeigt nunmehr die gleichgerichtete Wechselspannung am Ausgang des Verstärkers an. Zum Beweis kann man die Lautstärke am Potentiometer ganz bis auf Null herunterregeln. Dann ist auch am Instrument keine Anzeige mehr vorhanden, obwohl die Batterie-Gleichspannung noch anliegt.
Schaltet man vor das Drehspulinstrument eine Diode, dann kann man also eine Wechselspannungs- bzw. Wechselstromanzeige erreichen.
Daß man über einen Kondensator eine Wechselspannung übertragen kann, ist bekannt. Es ist aber dabei nicht gleichgültig, welche Kapazität der Kondensator besitzt. Für Gleichstrom bildet er ohnehin in jedem Fall einen unendlich großen Widerstand. Aber auch für Wechselstrom stellt ein Kondensator einen Widerstand dar, den sogenannten Wechselstrom-Widerstand. Dieser ist abhängig von der Kapazität des Kondensators und der zu übertragenden Frequenz. Je größer die Kapazität eines Kondensators ist, um so kleiner ist sein Wechselstromwiderstand. Außerdem wird der Wechselstromwiderstand eines Kondensators um so kleiner, je höher die Frequenz ist.


1,5kΩ
10kΩ
330kΩ
10µF
0,1µF
10kΩ
10µF
100kΩ
0,1µF
0,1µF
4,7kΩ
100µF
10kΩ
2,2kΩ
120Ω
3,9kΩ

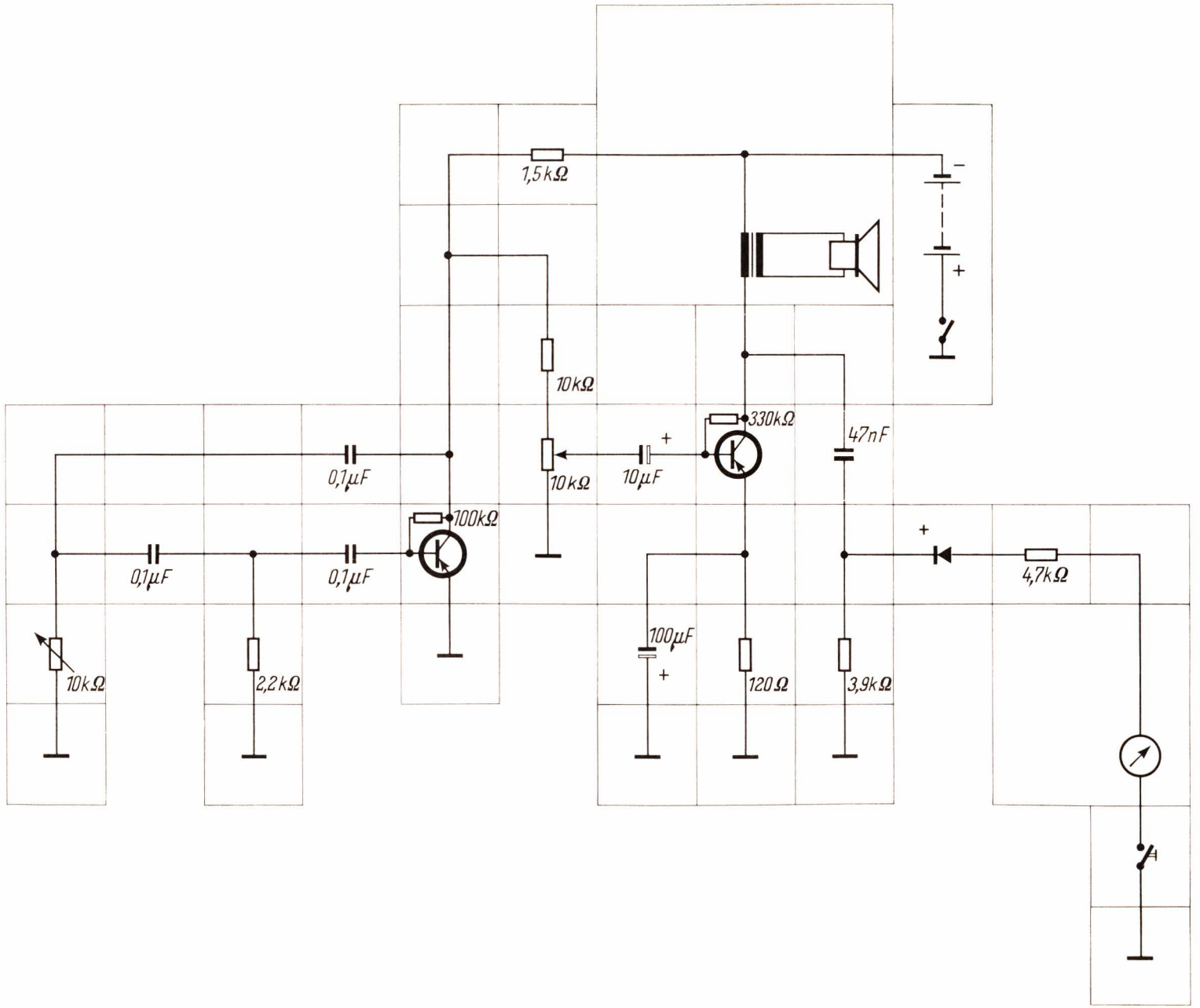
Einfluß der Kapazität eines Kondensators im Wechselstromkreis

Bei unveränderter Einstellung des Lautstärkereglers (Potentiometer) und des Frequenzreglers (Regelwiderstand) wird der 10 μF Elko gegen einen Kondensator von 47 nF ausgetauscht. Setzt man den Generator wieder in Betrieb, dann schlägt das Instrument nicht mehr so weit aus, wie das bei Verwendung des 10 μF Kondensators der Fall war. Der 47 nF Kondensator (mit kleinerer Kapazität) hat also einen größeren Wechselstromwiderstand als der 10 μF Kondensator (mit größerer Kapazität).


1,5 kΩ
10 kΩ
10 kΩ
330 kΩ
47 nF
0,1 µF
10 µF
100 kΩ
0,1 µF
0,1 µF
4,7 kΩ
100 µF
10 kΩ
2,2 kΩ
120 Ω
3,9 kΩ

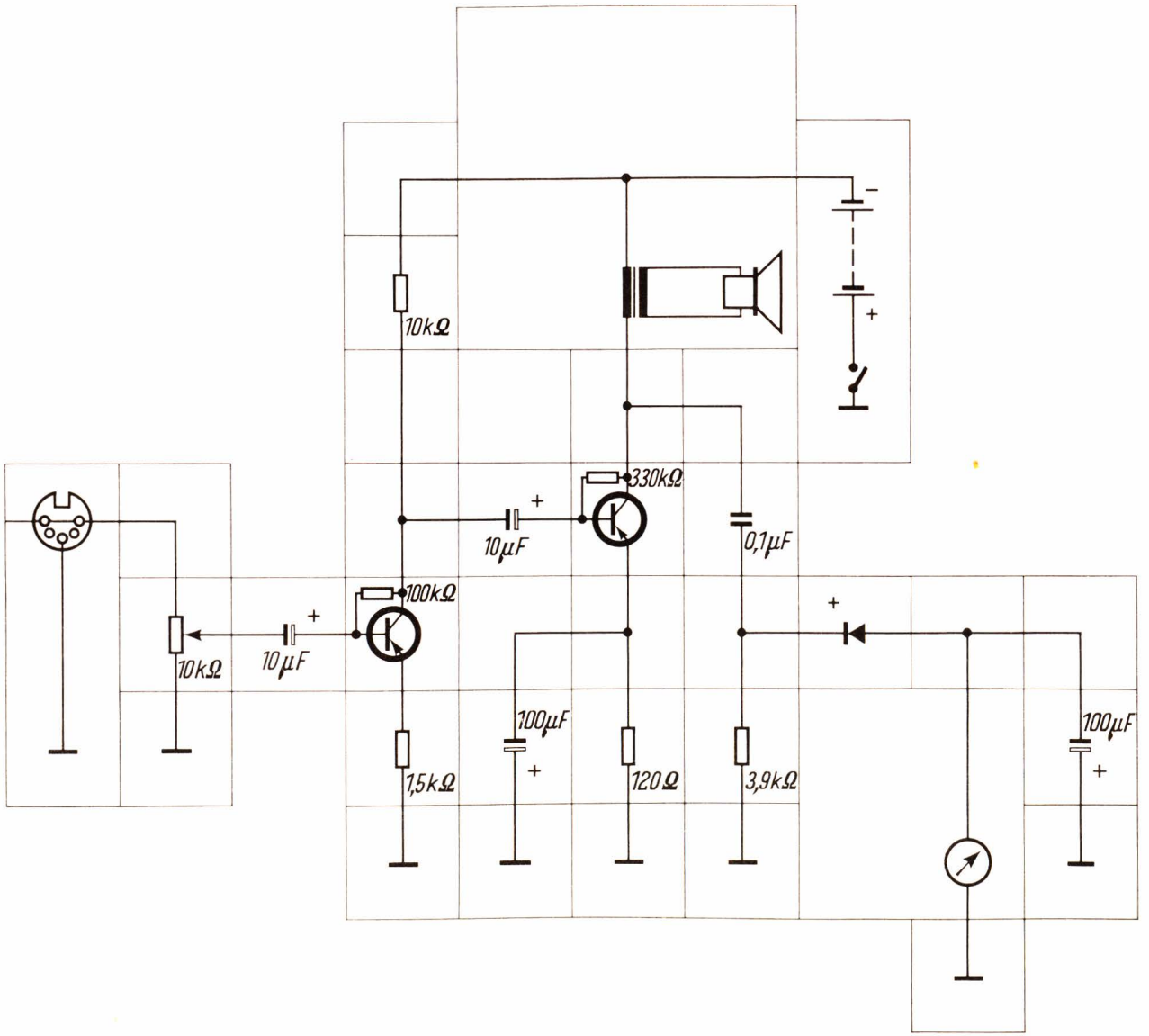
Frequenzabhängigkeit des Wechselstromwiderstandes beim Kondensator

Der Schaltungsaufbau für diesen Versuch entspricht vollkommen dem des Versuches 45. Der Lautstärkeregler wird wieder nicht verändert. Dagegen verstellt man jetzt am 10 kΩ Regelwiderstand die Frequenz. In einem bestimmten Bereich wird die Lautstärke des Tones dabei ziemlich gleich bleiben. Am Anzeigeinstrument sieht man aber ganz deutlich, daß bei höherer Frequenz — also höherem Ton — der Zeigerausschlag größer wird. Damit ist auch bewiesen, daß der Wechselstromwiderstand eines Kondensators bei höherer Frequenz abnimmt. Bei zu hoch eingestellter Frequenz nimmt bei dem einfachen Generator allerdings auch die Lautstärke ab, d. h. die Ausgangswechselspannung wird geringer. Dann wird natürlich auch der Ausschlag des Instrumentes wieder kleiner. Man darf daher, um nicht zu falschen Ergebnissen zu kommen, den Versuch nur in dem Frequenzbereich durchführen, bei dem die Lautstärke des Tones einigermaßen gleichbleibt.
Durch Drehspulinstrumente mit Gleichrichter lassen sich nicht nur gleichmäßige Wechselspannungen messen, wie sie mit dem Tonfrequenzgenerator erzeugt werden. Man kann sie vielmehr auch als sogenannte Aussteuerungsanzeiger in Verstärkern einsetzen, die zur Wiedergabe von Sprache oder Musik dienen. Ein großes Anwendungsgebiet finden solche Aussteuerungsanzeiger beispielsweise bei Tonbandgeräten. Hier kommt es darauf an, daß bei der Tonbandaufnahme eine bestimmte Höchstspannung nicht überschritten wird. Um die Wirkung einer solchen Einrichtung kennenzulernen, wird das Anzeigeinstrument im folgenden Versuch als Aussteuerungsanzeiger für den bereits früher aufgebauten Plattenspieler-Verstärker verwendet.


1,5kΩ
10kΩ
330kΩ
47nF
0,1µF
10kΩ
10µF
100kΩ
0,1µF
0,1µF
4,7kΩ
100µF
10kΩ
2,2kΩ
120Ω
3,9kΩ

Das Anzeige-Instrument als Aussteuerungsanzeiger beim Plattenspieler-Verstärker

Der Schaltungsaufbau des Verstärkers entspricht dem des Versuches 41. In der Endstufe ist wieder ein Abzweigungsbaustein anzuordnen, an dem das Anzeigeinstrument angeschlossen wird. Zur gleichstrommäßigen Trennung wird hier ein Kondensator von 0,1 µF benutzt. Das Instrument ist über die Diode angeschlossen. Parallel zum Instrument liegt ein Elko von 100 µF. Setzt man den Plattenspieler und den Verstärker in Betrieb, dann kann man am Instrument die jeweilige Lautstärke kontrollieren. Bei lauten Stellen wird der Zeiger sehr weit ausschlagen und unter Umständen sogar den Endausschlag erreichen. In den vorher erwähnten Tonbandgeräten ist beispielsweise bei einem bestimmten Skalenwert eine rote Marke angebracht, die bei der Tonaufnahme nicht überschritten werden darf.



Die Ausbreitung des Wechselstromes im freien Raum

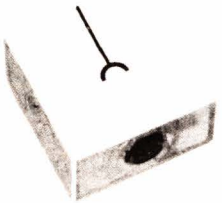
In der Beschreibung des Transformators (siehe Seite 86 des Buches) wurde bereits gezeigt, daß man eine Wechselspannung bzw. einen Wechselstrom übertragen kann, ohne daß eine direkte Verbindung zwischen Eingang und Ausgang besteht. Die Kopplung erfolgte vielmehr über den Eisenkern durch zwei darauf gewickelte Spulen. Bei dem erwähnten Klingeltransformator handelte es sich um die Übertragung von Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz. Der im Lautsprecherbaustein enthaltene Transformator arbeitet ebenfalls noch bei Wechselströmen im Niederfrequenz- (Tonfrequenz-) bereich. Auch hier sind die beiden Spulen auf einen Eisenkern gewickelt. Würde man die beiden Spulen weit voneinander entfernt anordnen, dann würde man nicht mehr so gute Ergebnisse erzielen. Je höher aber die verwendete Frequenz ist, um so leichter lassen sich die Wechselströme auch über größere Entfernungen übertragen. Wechselspannungen bzw. -ströme mit hoher Frequenz breiten sich im freien Raum über sehr große Strecken aus. Auf dieser Tatsache beruht die gesamte Rundfunktechnik.

Auch zwischen dem „Sender", der das Rundfunkprogramm ausstrahlt, und dem „Empfänger" besteht keine direkte Verbindung über einen Draht. Daher stammt auch die Bezeichnung „Drahtlose Nachrichtentechnik" für diese Art von Übertragung.
Wie schon erwähnt, muß man für eine drahtlose Übermittlung eine hohe Frequenz, eine „Hochfrequenz", verwenden. Bei den Sendern im sogenannten Mittelwellenbereich, die man mit jedem Rundfunkempfänger aufnehmen kann, handelt es sich um Wechselströme im Bereich von einigen hundert Kilohertz. Auf der Senderseite wird der Hochfrequenz-Wechselstrom einer Antenne zugeführt, von der die elektrischen Schwingungen in den Raum ausgestrahlt werden. Der Empfänger benötigt dann wieder eine Antenne, um die Schwingungen aufzunehmen. Die Empfangsantenne kann bei modernen Geräten sehr klein sein und ist daher vielfach bereits eingebaut.
Natürlich kann man die hochfrequenten Schwingungen von mehreren hundert Kilohertz nicht einfach nach entsprechender Verstärkung im Lautsprecher hörbar machen, denn diese Frequenzen liegen ja weit außerhalb des Bereiches, den das menschliche Ohr wahrnehmen kann. Die Hochfrequenzschwingungen dienen vielmehr nur als „Träger" für das eigentliche Signal, das man übermitteln will, also zum Beispiel die Sprache oder Musik. Dabei werden die Hochfrequenzschwingungen im Takte der zu übertragenden Tonfrequenz beeinflußt, sie werden „moduliert". Die Polarität der Spannung bzw. des Stromes wechselt ständig hin und her. Moduliert man nun die Hochfrequenz im Takte der Niederfrequenz in einer geeigneten Schaltung, dann ändert sich die Größe der Hochfrequenz-Wechselspannung ständig, je nachdem, ob gerade viel oder wenig Niederfrequenzspannung zugeführt wird.
An der Antenne des Empfängers tritt dann ebenfalls eine ständig schwankende Hochfrequenzspannung auf. Im Empfänger selbst wird die sehr geringe Antennenspannung verstärkt. Außerdem muß man die gewünschte Niederfrequenz wieder von ihrem „Träger", der Hochfrequenz, trennen. Das geschieht z. B. mit einer Diode. Wie in den Versuchen 36 und 37 und später auch bei Versuch 44 mit einem Tonfrequenzgenerator nachgewiesen wurde, läßt die Diode einen Strom nur in der Durchlaßrichtung fließen. Das gilt auch dann, wenn es sich um eine von der Antenne eines Rundfunkempfängers aufgenommene Hochfrequenzspannung handelt. Sie wird „gleichgerichtet".
Was nach der Gleichrichtung übrig bleibt, ist die gewünschte Niederfrequenz (Tonfrequenz), die weiter verstärkt und im Lautsprecher hörbar gemacht werden kann.

Die Abstimmung im Rundfunkempfänger

Mit der Empfangsantenne des Rundfunkempfängers nimmt man nicht nur die Hochfrequenzspannung eines einzigen Senders auf. Vielmehr wird die Antenne von der ausgestrahlten Hochfrequenz sehr vieler Sender getroffen. Man würde daher zunächst alle Spannungen, die an die Antenne gelangen, gleichrichten und nach Verstärkung im Lautsprecher hören. Das ergäbe aber ein völliges Durcheinander. Um das zu vermeiden, arbeitet jeder Rundfunksender auf einer anderen Frequenz. Im Empfänger wird dann die jeweils gewünschte Frequenz durch eine geeignete Schaltung ausgesucht. Dieses Aussuchen eines ganz bestimmten Senders nennt man „abstimmen". Als Bauelemente hierzu werden eine Spule und ein Kondensator gebraucht. Schaltet man diese beiden Bauelemente parallel oder in Reihe, dann erhält man einen sogenannten Schwingkreis. Führt man einem solchen Kreis eine Wechselspannung zu, dann verhalten sich die beiden Teile zunächst so, wie das die Versuche mit Kondensatoren und Spulen gezeigt haben. Bei einer ganz bestimmten Frequenz aber, die von der Induktivität der Spule und der Kapazität des Kondensators abhängig ist, unterstützt der Schwingkreis die zugeführte Wechselspannung bzw. den Wechselstrom so stark, daß man an der Schaltung einen wesentlich höheren Spannungs- bzw. Stromwert abnehmen kann, als eigentlich angelegt wird. Besteht die zugeführte Wechselspannung nun aus einem Gemisch vieler verschiedener Frequenzen, dann kann man durch geeignete Wahl der Kapazität und Induktivität eine spezielle Frequenz aussuchen, die dann im Rundfunkempfänger weiter verarbeitet wird. In den meisten Fällen verwendet man in Rundfunkempfängern eine feste Spule und einen veränderlichen Kondensator (Drehkondensator), um die gewünschte Senderfrequenz auszusuchen, d. h. den Empfänger „abzustimmen".

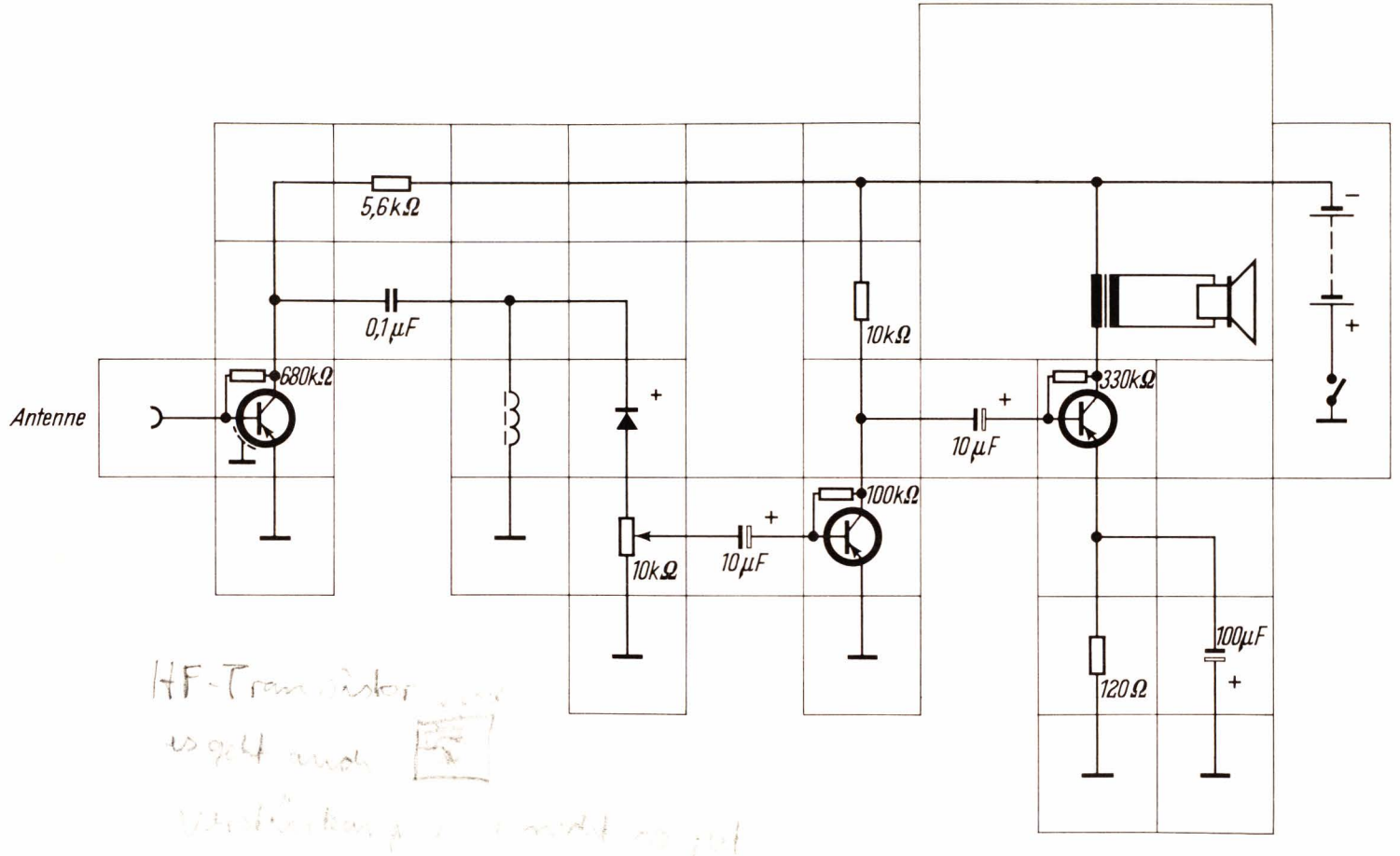
Ein nicht abgestimmter Rundfunkempfänger



Um die grundsätzliche Wirkungsweise der drahtlosen Nachrichtentechnik kennenzulernen, soll zunächst ein ganz einfacher, nicht abgestimmter Empfänger aufgebaut werden. Da mit dem Gerät nur eine sehr geringe Empfindlichkeit zu erzielen ist, benötigt man eine besondere Antenne. Vollkommen ausreichend für diesen Zweck ist beispielsweise der Anschluß an die Zentralheizung oder die Wasserleitung über ein Stück Draht. Über den Baustein mit Einzelbuchse erfolgt die Zuführung zu den Bausteinen der Experimentierschaltung.

Das Schaltbild zeigt, daß die von der Antenne kommenden Hochfrequenz-Wechselspannungen unmittelbar dem Basisanschluß des ersten Transistors zugeführt werden. Dieser sogenannte Eingangstransistor soll die empfangene Hochfrequenzspannung verstärken. Über einen Widerstand von 5,6 kΩ ist der Transistor an die Batterie-Gleichspannung angeschlossen. Diese ständig anliegende Gleichspannung würde ein einwandfreies Arbeiten der nachfolgenden Diode unmöglich machen, denn diese soll nur die Hochfrequenzspannung gleichrichten. Daher ist zwischen den Kollektor des ersten Transistors und die Diode ein Kondensator von 0,1 μF eingefügt, der die Batteriespannung sperrt. Als Arbeitswiderstand für die Hochfrequenzspannung wirkt dann auch nicht der 5,6 kΩ Widerstand, sondern der Spulenbaustein. In der Beschreibung des Spulenbausteines wurde schon gezeigt, daß eine Spule für Gleichstrom praktisch keinen Widerstand besitzt. Bei Wechselstrom hat sie jedoch, je nach Induktivität, einen sehr hohen Widerstand. Parallel zum Spulenbaustein erhält man die von der Antenne aufgenommene und im ersten Transistor verstärkte Hochfrequenz-Wechselspannung. Die Wechselspannung wird nun der Diode zugeleitet und von dieser gleichgerichtet. Nach der Diode, also am Potentiometerbaustein, steht dann die aus der modulierten Hochfrequenzspannung zurückgewonnene Niederfrequenzspannung (Tonfrequenz) wieder zur Verfügung. Je nach Lautstärkebedarf nimmt man am Potentiometer die gesamte Niederfrequenzspannung oder nur einen Teil davon ab und steuert damit den zweistufigen Niederfrequenzverstärker, der im wesentlichen den bisher aufgebauten Verstärkern dieser Art entspricht.

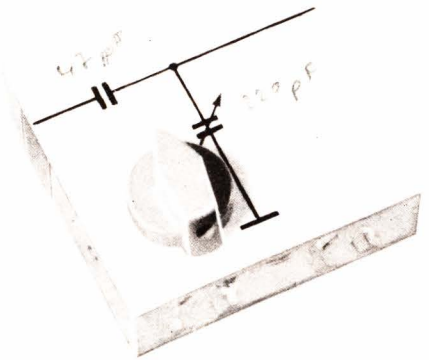
Bei angeschlossener Antenne wird nun die Batterie eingeschaltet und zunächst am Potentiometer die volle Spannung abgegriffen. Im Lautsprecher wird man dann eine ganze Reihe von Rundfunksendern gleichzeitig hören können. Wohnt man in der Nähe eines starken Ortssenders, dann hört man diesen am lautesten und muß evtl. am Potentiometer die Lautstärke herunterregeln. Das Aussuchen eines bestimmten Senders ist mit dieser Schaltung noch nicht möglich. Der Versuch zeigt nur, wie der Empfang eines drahtlosen Signals (Sprache oder Musik) erfolgen kann.


5,6kΩ
0,1µF
680kΩ
Antenne
10kΩ
10kΩ
10µF
100kΩ
10µF
330kΩ
120Ω
100µF

Der Abstimmkondensator

Im Aufbaukasten 1 besteht der Abstimmkreis aus zwei Bausteinen. Einer davon ist der Abstimmkondensator (Drehkondensator). Er hat wieder gegenüberliegende Metallplatten mit einer isolierenden Zwischenschicht, wie das auch schon bei dem früher beschriebenen Festkondensator der Fall war. Beim Drehkondensator läßt sich die eine Metallplatte (in der Praxis sind es allerdings mehrere parallel geschaltete Platten) gegen die andere verdrehen. Dadurch stehen sich je nach Drehwinkel mehr oder weniger große Metallflächen gegenüber. Damit ändert sich die Kapazität des Drehkondensators.

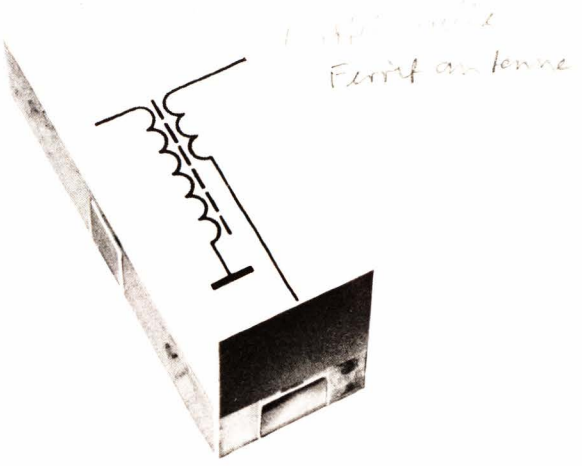
Der Drehkondensator im Aufbaukasten 1 ist in einem Viererbaustein untergebracht. Ein Anschluß ist direkt an das Kontaktplättchen der Bodenfläche geführt. Der andere Anschluß des Drehkondensators ist einerseits direkt mit einem seitlichen Kontaktplättchen, zum anderen über einen 47 pF Festkondensator mit einem weiteren Kontaktplättchen verbunden. Über diesen Kondensator wird die Antenne angeschlossen, wodurch sich eine bessere Anpassung des Schwingkreises an die Antenne erzielen läßt.



Die Schwingkreisspule

Neben dem Drehkondensator gehört zum Abstimmkreis die Schwingkreisspule, die in einem Dreierbaustein eingebaut ist. Wie das Schaltbild zeigt, handelt es sich eigentlich nicht nur um eine Spule, sondern um zwei. Zum Abstimmkreis gehört jedoch nur eine davon. Über die zweite Spule (Koppelspule) wird die vom Schwingkreis herausgesuchte Hochfrequenzspannung ausgekoppelt. Das ist notwendig, um den Schwingkreis an den nachfolgenden Transistoreingang besser anpassen zu können. Damit bildet dieser Baustein also wiederum einen Transformator.

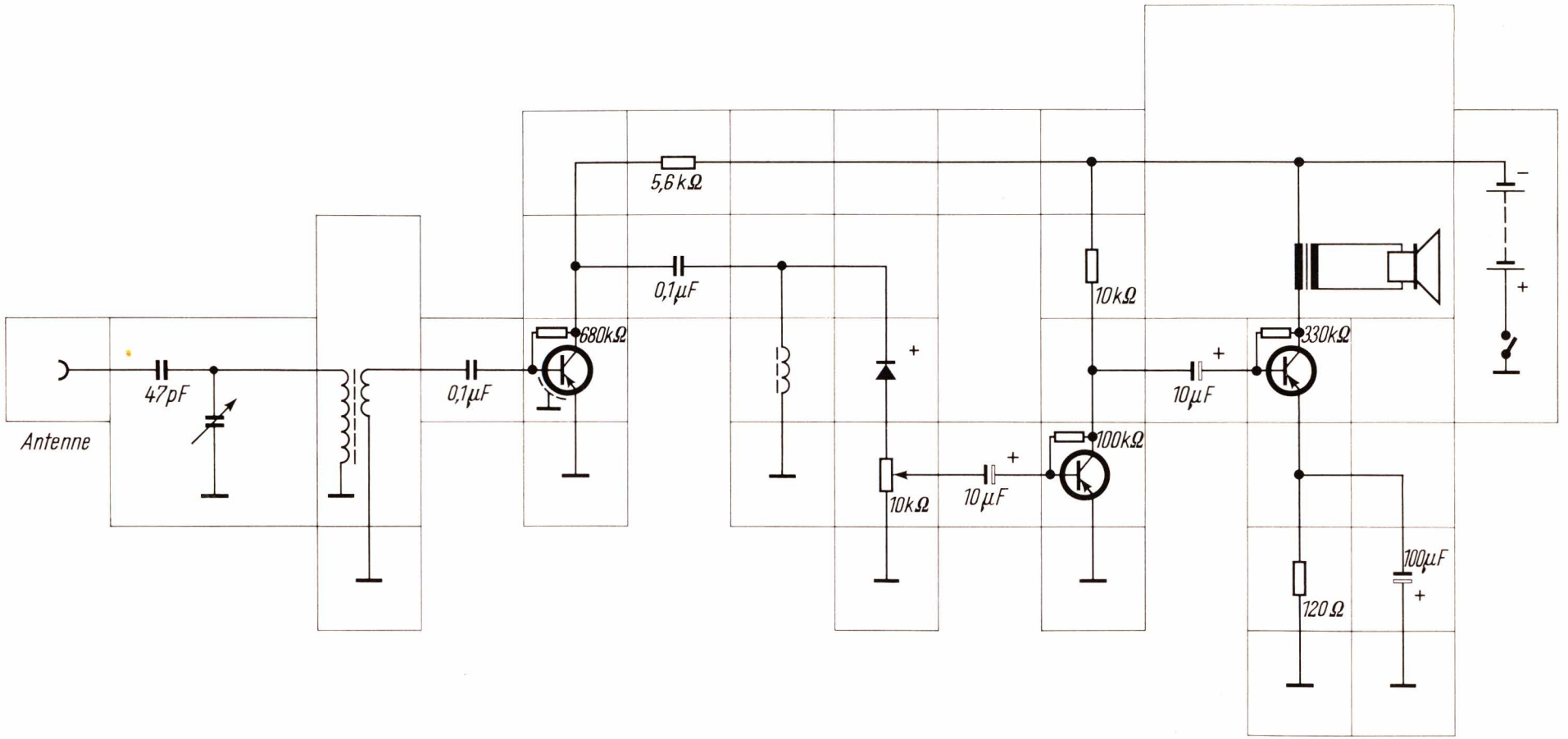
Beide Spulen sind gemeinsam auf einen stabförmigen Kern aus einem besonderen Material — einen sogenannten Ferritstab — gewickelt. Bei einem empfindlichen Rundfunkempfänger, wie er beispielsweise später im Versuch 50 aufgebaut wird, genügt bereits dieser Ferritstab als Antenne, und man kann auf den Anschluß einer zusätzlichen Antenne verzichten. Dabei ist allerdings zu beachten, daß eine solche Anordnung richtungsempfindlich ist. Die größte Lautstärke im Empfänger erzielt man dann, wenn der Ferritstab quer zu der Richtung liegt, aus der der jeweilige Sender empfangen wird. Auf diese Weise lassen sich gegebenenfalls auch Sender besser trennen, deren Frequenzen nahe beieinander liegen und die daher durch die Abstimmwirkung des Schwingkreises allein nicht einwandfrei getrennt werden können. Moderne Rundfunkempfänger sind fast ausschließlich mit einer drehbaren Ferritantenne ausgerüstet.



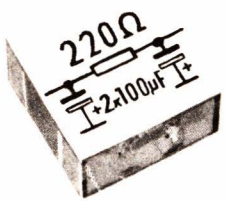
Der Aufbau der Verstärkerstufen und die Gleichrichtung der Hochfrequenzspannung entspricht bei dieser Schaltung dem vorigen Versuch. Lediglich die Ankopplung der Antenne wird über die Abstimmbausteine vorgenommen. Die Antenne wird wieder über den Baustein mit Einzelbuchse angeschlossen. Sie ist auch bei dieser Schaltung noch notwendig. Die Antennenspannung gelangt über den 47 pF Kondensator an den Schwingkreis. Über die Koppelspule wird die Hochfrequenzspannung der Basis des Eingangstransistors zugeführt. Würde man die Koppelspule unmittelbar zwischen die Basis des Transistors und Masse legen, so würde sich wieder die Basisgleichspannung unzulässig verschieben. Aus diesem Grunde ist auch hier ein Kondensator von 0,1 µF vorgesehen.

Mit der Schaltung 49 lassen sich durch Drehen am Abstimmkondensator einzelne Sender heraussuchen. Man kann das Gerät „abstimmen". Da hier nur ein einziger Abstimmkreis vorhanden ist, erreicht man allerdings noch keine sehr große Trennschärfe. Moderne Rundfunkempfänger arbeiten mit mehreren Abstimmkreisen und ergeben damit eine wesentlich bessere Trennschärfe. Mit dem Versuchsaufbau 49 können — vor allem abends — mehrere starke Sender einwandfrei empfangen werden.

Durch einen besonderen Kunstgriff kann man einen Rundfunkempfänger mit drei Transistoren, wie er in den beiden letzten Schaltungen aufgebaut wurde, noch wesentlich empfindlicher machen, wenn man einen Transistor doppelt — zur Hochfrequenz- und zur Niederfrequenzverstärkung — ausnutzt. Man erhält eine Hochfrequenz- und drei Niederfrequenzverstärkerstufen. Bei einer solchen Vielzahl von Verstärkerstufen kann es vorkommen, daß zwischen den einzelnen Stufen über die Stromquelle (Batterie) eine unerwünschte Rückkopplung erfolgt. Die Schaltung beginnt zu pfeifen. Um das zu vermeiden, müssen die Verstärkerstufen gegenseitig entkoppelt werden. Der Aufbaukasten 1 enthält einen Baustein, mit dem diese Entkopplung durchgeführt werden kann.


5,6 kΩ
0,1µF
10kΩ
680kΩ
330kΩ
47pF
0,1µF
10µF
Antenne
100kΩ
10kΩ
10µF
100µF
120Ω

Der Entkopplungsbaustein



In diesem Baustein mit der Grundgröße sind drei Bauelemente untergebracht: zwei Elkos und ein Widerstand. Der Pluspol beider Elkos ist direkt an Masse geführt. Um eine wirksame gegenseitige Entkopplung der Verstärkerstufen zu erreichen, fügt man den Entkopplungsbaustein in die Stromzuführungsleitung von ein oder zwei Transistoren ein. Der oder die übrigen Transistoren werden nach wie vor direkt an die Stromquelle angeschlossen. Über die beiden Elkos mit dem dazwischenliegenden Widerstand werden dann die von der einen Seite des Entkopplungsbausteins kommenden Wechselspannungen, die zur unerwünschten Rückkopplung führen könnten, nach Masse abgeleitet.

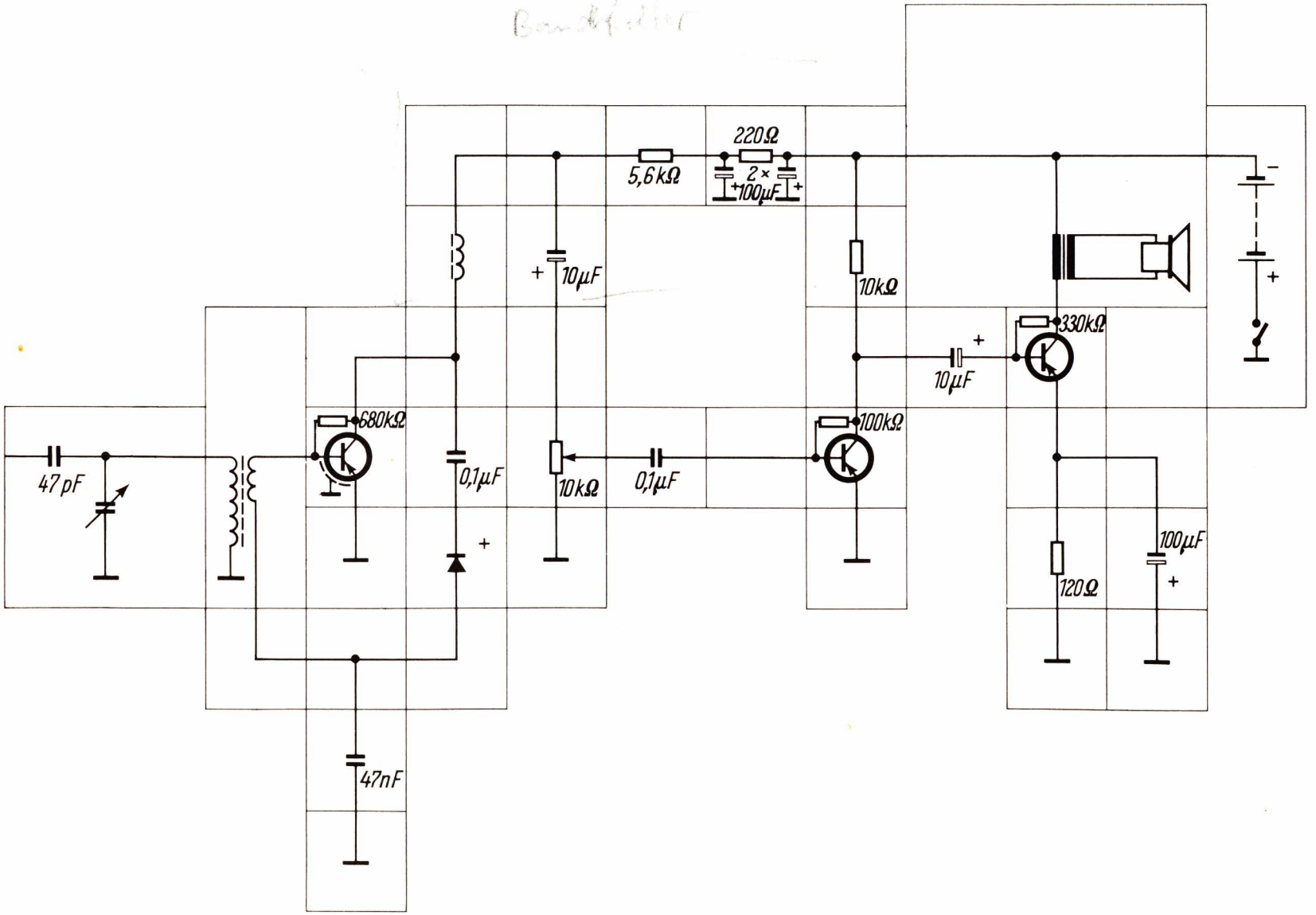
Ein abgestimmter Rundfunkempfänger mit doppelter Ausnutzung eines Transistors

Wie beim letzten Versuch erfolgt auch hier mit dem Schwingkreis eine Abstimmung auf den gewünschten Sender. Die Hochfrequenzspannung gelangt über die Koppelspule zur Basis des ersten Transistors. Hier kann auf die Zwischenschaltung eines Kondensators verzichtet werden, da der andere Anschluß der Koppelspule über einen 47 nF Kondensator an Masse gelegt ist. Im Kollektorkreis dieses Transistors liegt zunächst der Spulenbaustein als Arbeitswiderstand. Für die Hochfrequenz-Wechselspannung stellt er einen sehr großen Widerstand dar. Über den Spulenbaustein kann daher praktisch kein Hochfrequenzstrom fließen. Die vom Schwingkreis ausgesuchte und im Transistor verstärkte Hochfrequenzspannung steht daher in voller Größe an seinem Kollektor zur Verfügung. Über einen 0,1 µF Kondensator erreicht sie die Diode und wird von ihr gleichgerichtet. An dem zwischen der Diode und Masse liegenden 47 nF Kondensator entsteht die gleichgerichtete Hochfrequenzspannung, also die Niederfrequenz- (Tonfrequenz-) Spannung. Über die Koppelspule wird diese Niederfrequenz wieder der Basis des ersten Transistors zugeführt. Da die Induktivität der Koppelspule gering und die Frequenz niedrig ist, stellt die Spule keinen Widerstand für die Niederfrequenz dar. Auch die Niederfrequenz wird jetzt im ersten Transistor verstärkt. Für diese Frequenz bedeutet der vom Kollektor zur Diode führende 0,1 µF Kondensator einen großen Widerstand, daher wird in diesem Stromkreis praktisch kein Niederfrequenz-Wechselstrom fließen. Dagegen bildet der Spulenbaustein im Kollektorkreis für die Niederfrequenz einen geringen Widerstand. Als Arbeitswiderstand für die Niederfrequenz ist daher der in Reihe zum Spulenbaustein liegende 5,6 kΩ Widerstand anzusehen. Die verstärkte Niederfrequenz kann somit an diesem Widerstand abgenommen werden und gelangt über einen weiteren Kondensator von 10 µF zum Potentiometer. Von dort aus erfolgt die weitere Verstärkung der Niederfrequenzspannung wie in den beiden vorhergehenden Versuchsschaltungen.

In die Stromzuführungsleitung des ersten Transistors ist das Entkopplungsglied eingefügt, um die erwähnte Rückkopplung zu vermeiden.

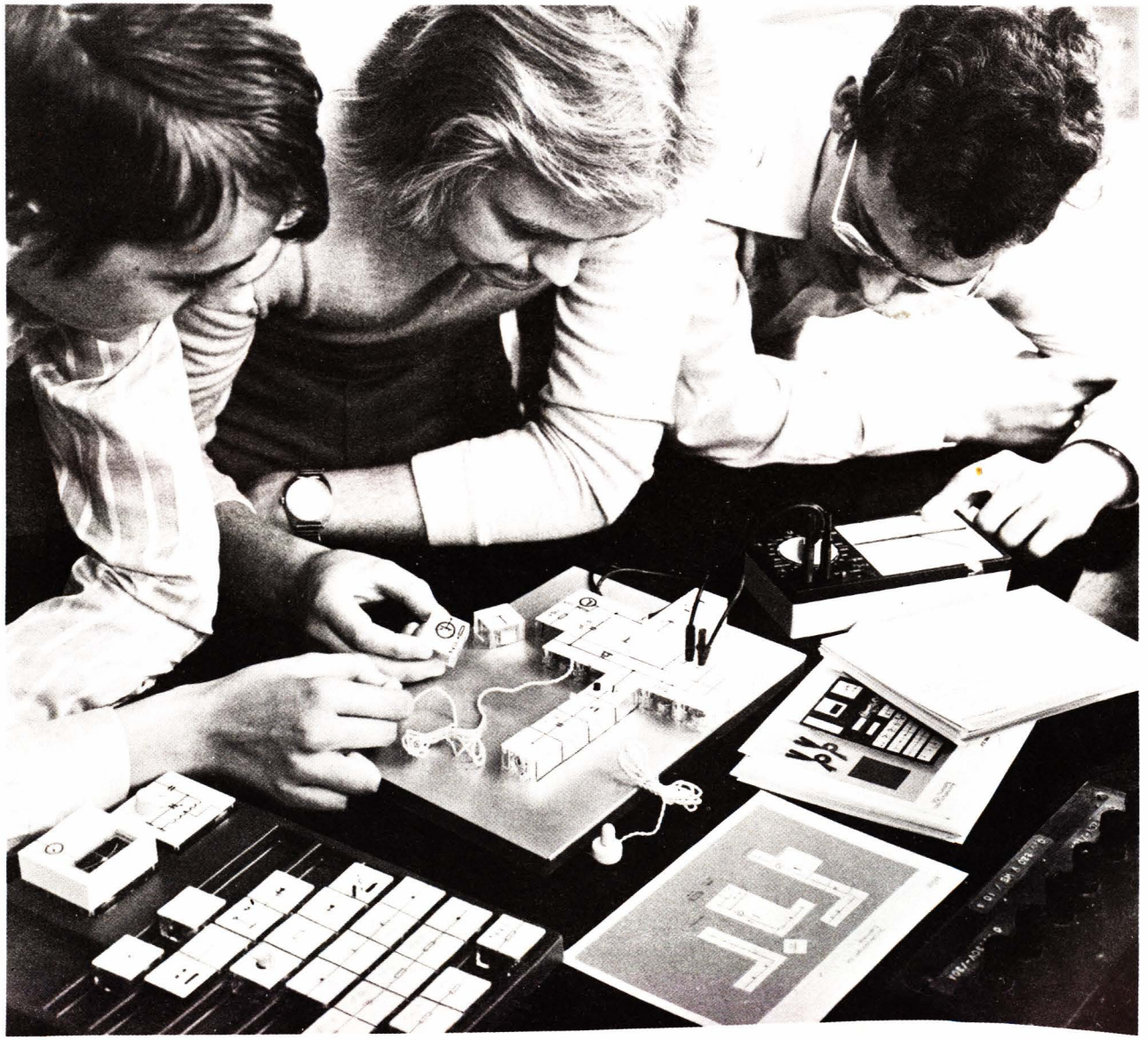
Da in dieser Schaltung gegenüber dem Versuch 49 eine nochmalige Verstärkung der Niederfrequenz stattfindet, ist eine erheblich größere Empfindlichkeit zu erreichen. Man kann daher den Anschluß einer zusätzlichen Antenne unterlassen und den eingebauten Ferritstab als Antenne verwenden. In der Beschreibung der Abstimmspule wurde schon auf die Richtungsempfindlichkeit einer solchen Ferritstab-Antenne hingewiesen. Um eine gute Empfangsleistung zu erzielen, muß man daher den Versuchsaufbau mit der Grundplatte so drehen, bis die größte Lautstärke des eingestellten Senders auftritt.

Mit der Schaltung 50 sind die mit dem Grundkasten und dem Aufbaukasten 1 möglichen Versuche abgeschlossen. Diese beiden Experimentierkästen haben einen Einblick in die wesentlichen Grundlagen der elektronischen Schaltungstechnik und in die Verstärker- und Rundfunktechnik ermöglicht. Damit kennt man jedoch nur einen Teil der Möglichkeiten, die die Elektronik bietet. Genauso interessant ist aber die Anwendung elektronischer Schaltungen in der sogenannten Meß- und Regeltechnik, mit denen sich die nachfolgenden 40 Versuche beschäftigen. Für diese Versuchsanordnungen benötigt man den Aufbaukasten 2.


220Ω
5,6kΩ
2 × 100µF
10µF
10kΩ
330kΩ
10µF
680kΩ
100kΩ
47pF
0,1µF
10kΩ
0,1µF
100µF
120Ω
47nF

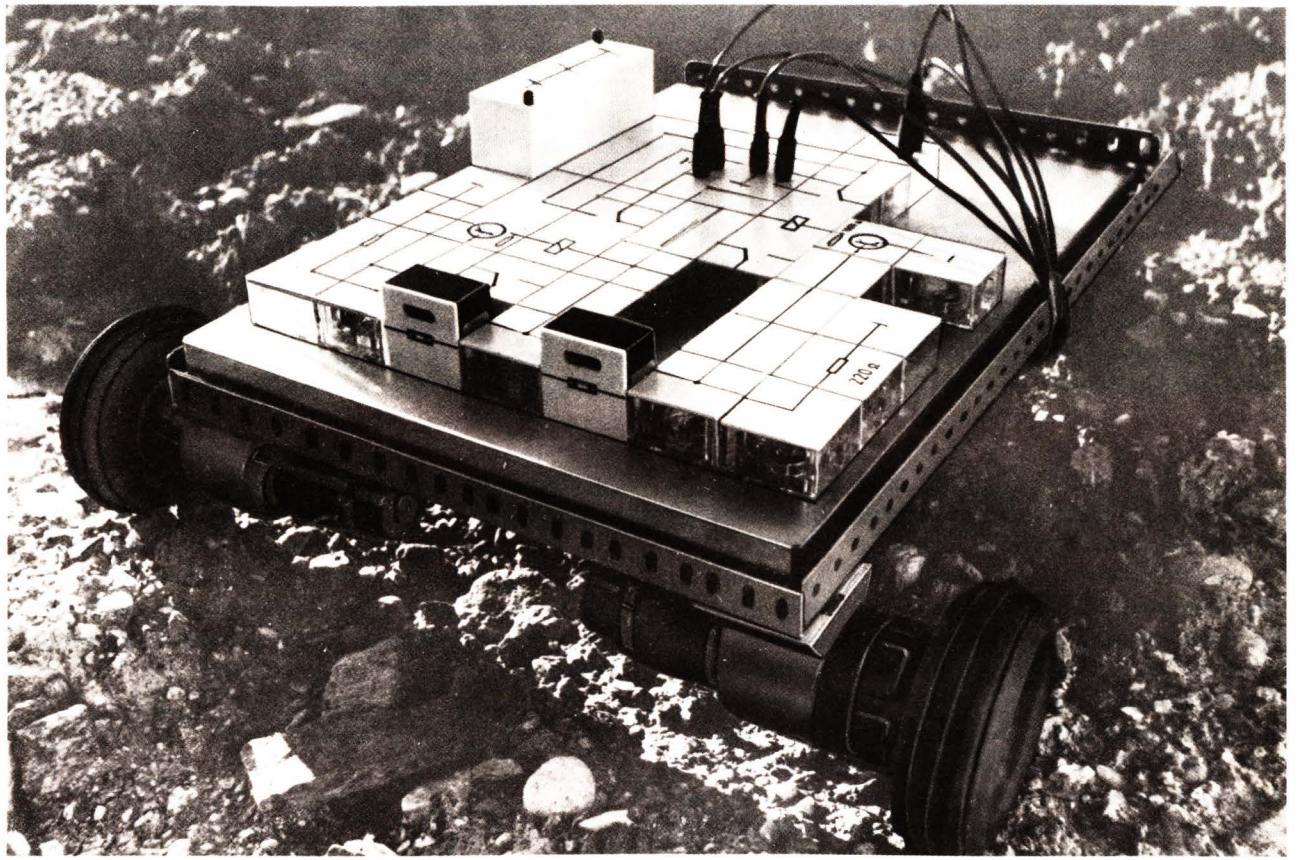
40 weitere Versuche über höhere Elektronik, Transistortechnik, Spannungswandlung und Spannungsstabilisierung. Ausbausystem 2 (M)

Die Versuche 1 — 50 haben die Grundlagen der elektronischen Schaltungstechnik gezeigt und den Aufbau elektro-akustischer Geräte ermöglicht. Daneben lassen sich mit Transistoren aber auch interessante Meß- und Regelaufgaben lösen. Die jetzt folgenden Versuche sollen einen Einblick in dieses Gebiet erlauben. Damit die Arbeitsweise dieser Schaltungen verständlicher wird, muß zunächst noch einmal das Verhalten des Transistors näher untersucht werden.



Ausbau-System 2 M
Elektronik III und
Steuertechnik-Kybernetik

Mit dem Lectron Ausbausystem 2 M können neben den folgenden 40 Versuchen der Elektronik III weitere 120 Versuche aus der Kybernetik I-Regelung, Steuerung und Phototaxis durchgeführt werden.



Kybernetisches Modell zur Darstellung von einfachen Versuchen der Regelung und Steuerung.

Spannungsverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung

Um die verstärkende Wirkung des Transistors festzustellen, wird das Anzeigeinstrument benötigt. Der Eingangskreis in der neuen Schaltung ist ähnlich aufgebaut wie im grundlegenden Transistorversuch 38. Im Ausgangskreis ist an Stelle der Glühlampe ein Festwiderstand von 1,5 kΩ als Arbeitswiderstand vorgesehen. Für die Versuchsdurchführung wird das Anzeigeinstrument wechselweise direkt zwischen Basis und Masse (Schaltbild 51 a) und über einen Vorwiderstand von 100 kΩ zwischen Kollektor und Masse geschaltet (Schaltbild 51 b). Im ersten Falle mißt man die Basisspannung, im zweiten Falle die Kollektorspannung des Transistors.

Der Versuch beginnt damit, daß der Schleifer des Potentiometers nach links gedreht und die Batterie eingeschaltet wird. Ist das Instrument nach Schaltbild 51 a eingefügt, dann zeigt es keinerlei Spannung an. Ordnet man das Meßwerk jetzt nach Schaltbild 51 b an, so wird es etwa bis zum Skalenwert 9 ausschlagen. Das entspricht der vollen Batteriespannung. Liegt an der Basis eines Transistors eine Spannung von Null, dann ist der Transistor sehr hochohmig gegenüber dem Kollektorwiderstand von 1,5 kΩ, mit dem er einen Spannungsteiler bildet. Der Transistor ist gesperrt.

Nun wird das Instrument wieder gemäß Schaltbild 51 a eingesetzt und der Potentiometerknopf so weit gedreht, bis der Instrumentenzeiger zum Skalenwert 3 ausschlägt. Das bedeutet eine Spannung von etwa 100 mV. In Schaltung 51 b zeigt das Instrument dann nicht mehr so viel an wie bei der letzten Messung der Kollektorspannung. Der Transistor ist nicht mehr so hochohmig, er ist „leitend" geworden. Der genaue Spannungswert kann hier nicht angegeben werden, da Transistoren — auch des gleichen Typs — unterschiedliche Eigenschaften haben und der gemessene Wert daher von Fall zu Fall verschieden ist.

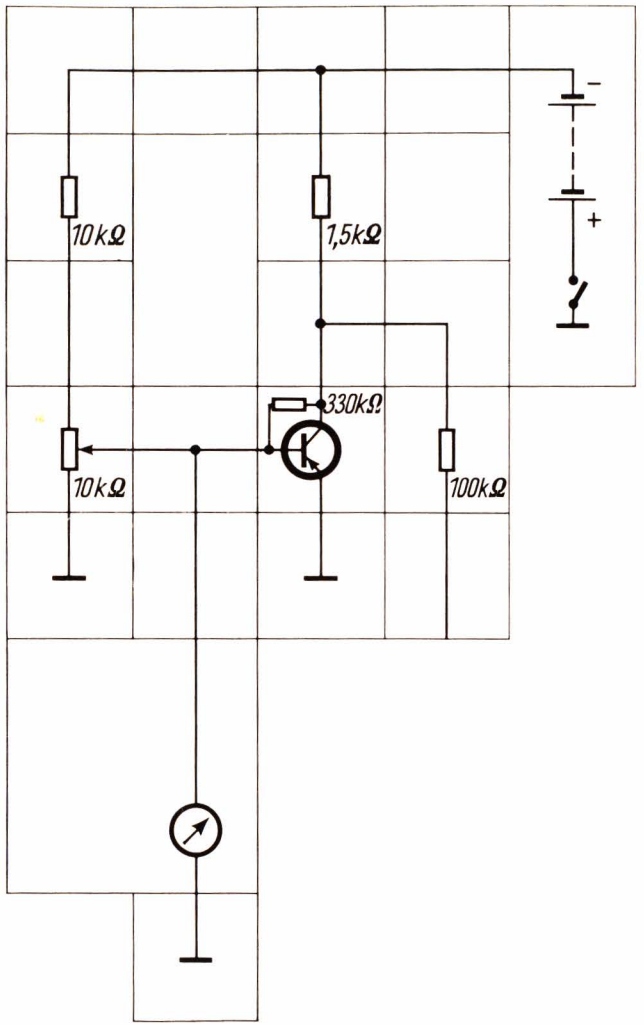
Jetzt mißt man wieder die Basisspannung nach Schaltbild 51 a und stellt das Potentiometer so ein, daß der Zeiger bis zum Skalenwert 4 ausschlägt. Das entspricht einer Spannung von etwa 135 mV. Schließlich wird das Instrument noch einmal nach Schaltbild 51 b angeordnet und die Kollektorspannung gemessen. Man stellt fest, daß der Zeiger jetzt nur etwa bis 7 ausschlägt.

Man vergleicht nun die Änderung der Basisspannung und die der Kollektorspannung. Zwischen den Potentiometerstellungen 2 und 3 wurde die Basisspannung von 100 mV auf 135 mV geändert, das sind 35 mV Unterschied. Die Kollektorspannung änderte sich dabei aber um einen wesentlich größeren Betrag.

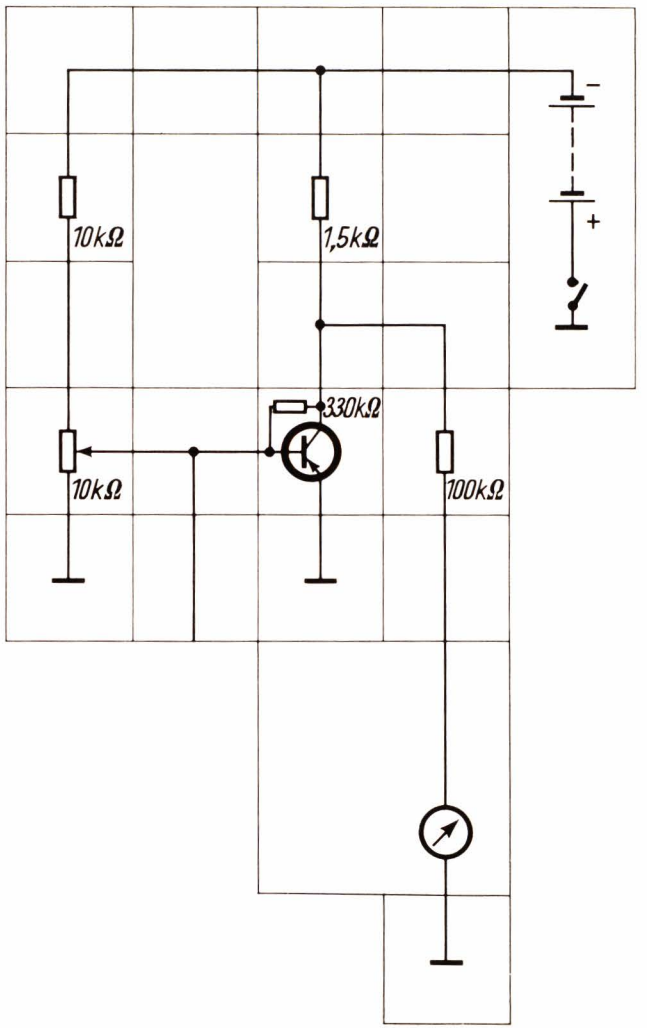
Eine geringe Spannungsänderung am Eingang des Transistors hat also in Emitterschaltung eine große Spannungsänderung am Ausgang zur Folge. Der Transistor leistet somit eine Verstärkung, und zwar hier, da die Spannungen gemessen wurden, eine Spannungsverstärkung.

Der Versuch zeigt außerdem, daß bei größer werdender Basisspannung die Kollektorspannung kleiner wird. Die beiden Spannungen verhalten sich somit umgekehrt. Diese Erkenntnis ist für spätere Versuche sehr wichtig.

Experiment 51a



Experiment 51b



Stromverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung

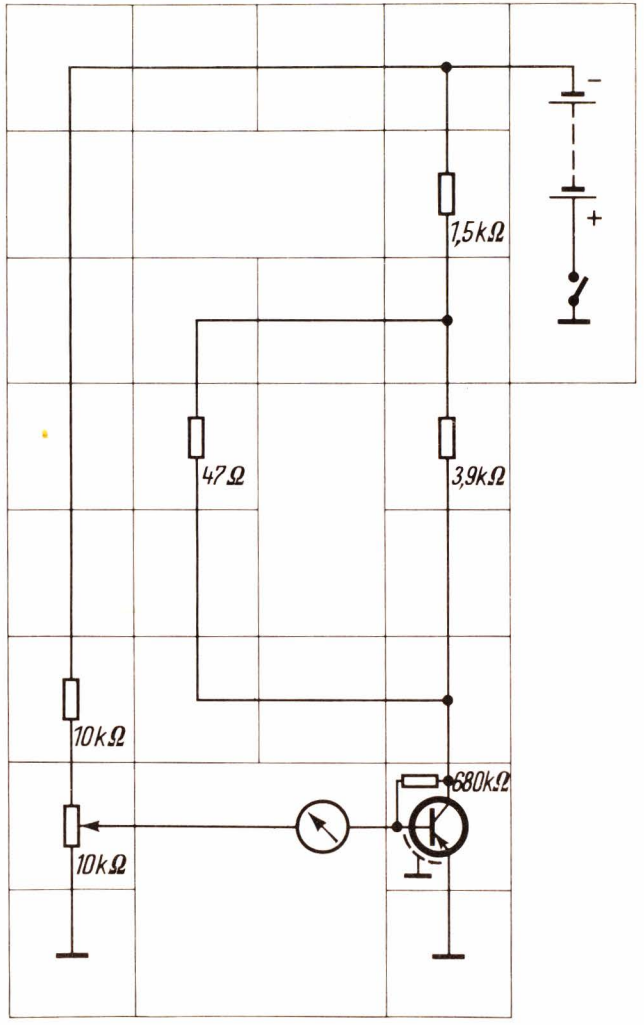
Nachdem der vorige Versuch die Spannungsverstärkung des Transistors nachgewiesen hat, soll nun untersucht werden, ob sich auch eine Stromverstärkung erzielen läßt. Das Anzeigeinstrument ist dann natürlich als Strommesser zu schalten, wie es die Versuchsschaltbilder 52 a und 52 b darstellen. Das Meßwerk ist nicht mehr parallel zum Eingang bzw. Ausgang des Transistors angeordnet, sondern in die Basisleitung bzw. Kollektorleitung eingefügt. Der 3,9 kΩ Widerstand wird im Schaltbild 52 b gegen das Meßinstrument ausgetauscht. Der 47 Ω Widerstand bleibt in der Schaltung und dient bei dieser Messung wieder zur Meßbereichs-Erweiterung.

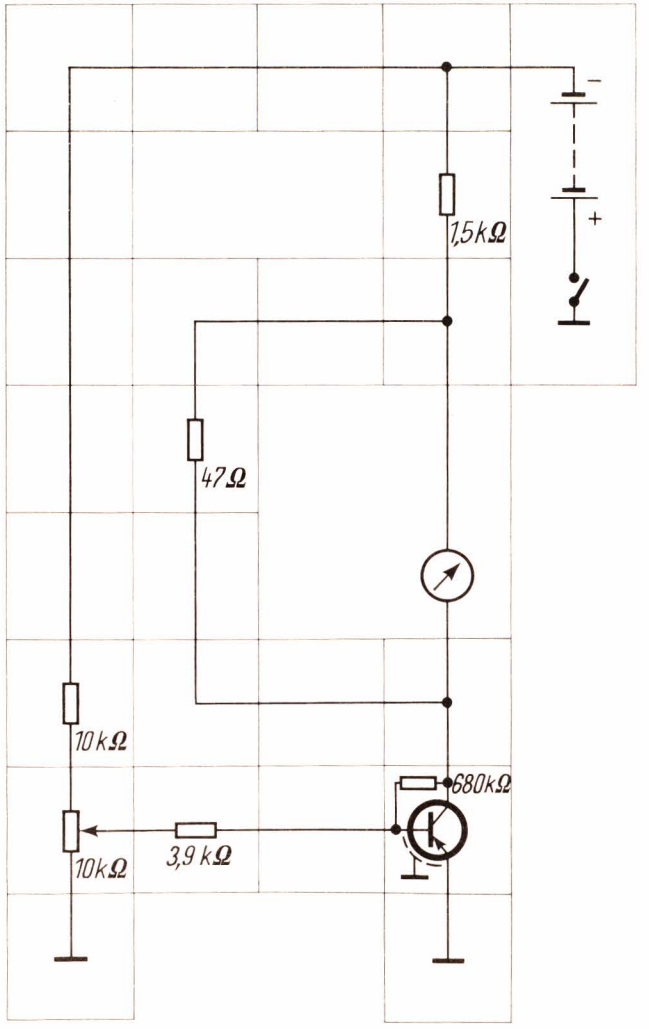
Der Versuch beginnt wieder mit dem Schaltbild 52 a und ganz nach links gedrehtem Potentiometerknopf. Bei eingeschalteter Batterie wird sich kein Basisstrom feststellen lassen. Auch in Schaltung 52 b zeigt das Instrument noch nichts an, es fließt also auch kein Kollektorstrom. Der Transistor ist gesperrt.

Nun dreht man den Potentiometerknopf so lange, bis das Instrument in Schaltung 52 a einen Skalenwert von 1 erreicht. Das entspricht einem Strom von etwa 10 μA. In Schaltung 52 b wird das Instrument jetzt ebenfalls einen Ausschlag zeigen. Der Zeiger wird etwa bis 2 ausschlagen. Das entspricht einem Kollektorstrom von etwa 2,5 mA.

Bei der Instrumentenanordnung nach Schaltung 52 a dreht man sodann das Potentiometer, bis ein Zeigerausschlag von 2 entsprechend einem Basisstrom von 20 μA erfolgt. Der Kollektorstrom nach Schaltbild 52 b ergibt dann etwa einen Wert von 4 mA. Ein Vergleich der Basis- und Kollektorströme bei den Potentiometerstellungen 2 und 3 läßt erkennen, daß die Änderung des Kollektorstromes wieder wesentlich größer ist als die des Basisstromes. Der Transistor in Emitterschaltung leistet somit auch eine Stromverstärkung.

Für eine ganze Reihe von Anwendungsfällen verwendet man den Transistor auch in der Kollektorschaltung. Das wesentliche Merkmal dieser Grundschaltung ist es, daß der Arbeitswiderstand, an dem die Ausgangsleistung abgenommen wird, hier zwischen Emitter und Masse liegt.

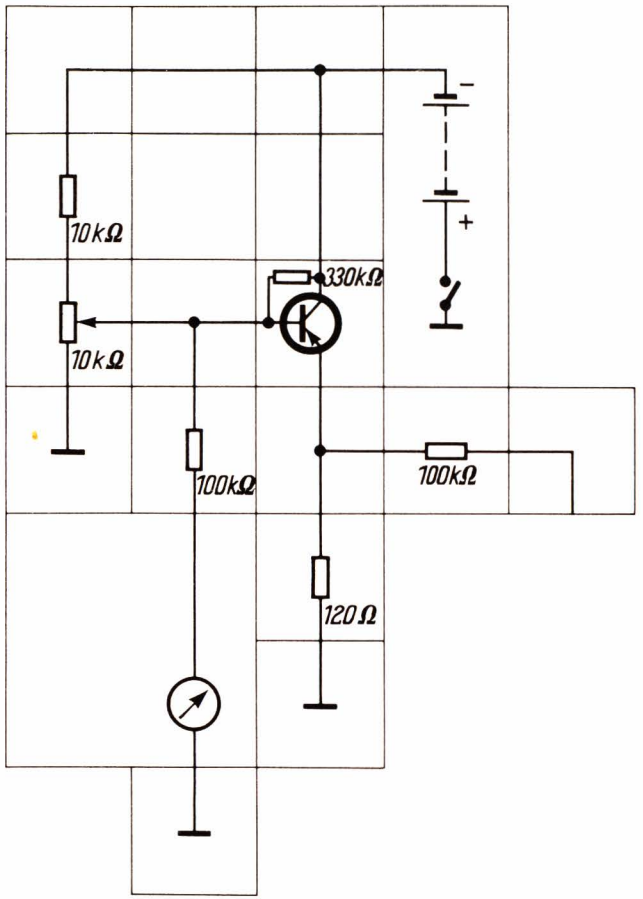

1,5kΩ
47Ω
3,9kΩ
10kΩ
680kΩ
10kΩ


1,5kΩ
47Ω
10kΩ
680kΩ
10kΩ
3,9kΩ

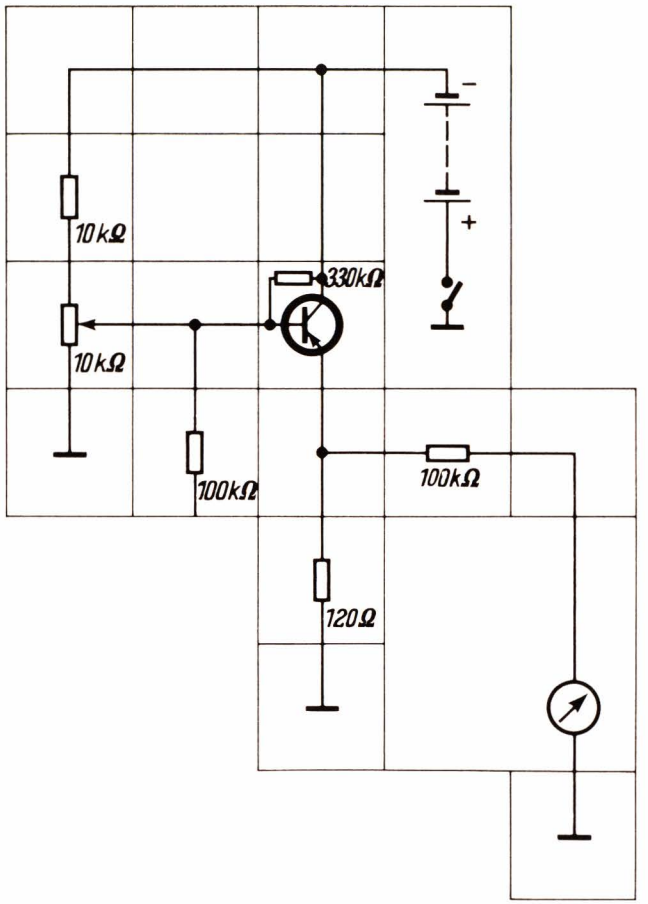
Spannungsverstärkung eines Transistors in Kollektorschaltung

Mit diesem Versuchsaufbau, der wieder aus zwei wechselweise zu verwendenden Schaltungen besteht, soll der Transistor auf eine mögliche Spannungsverstärkung in Kollektorschaltung geprüft werden. Die Versuchsdurchführung ähnelt den beiden letzten Experimenten. Wenn der Schleifer des Potentiometers ganz nach links gedreht wird, zeigt das Instrument in beiden Schaltungen 53a und 53b keinen Ausschlag. Erzeugt man durch Potentiometerdrehung in Schaltung 53a einen Zeigerausschlag bis zum Skalenwert von 2 — das ist eine Spannung von etwa 2 V —, dann erhält man in Schaltung 53b einen etwas geringeren Ausschlag. Für die Skalenwerte der Ausgangsspannung gelten die gleichen Beträge, da in beiden Fällen der gleiche Vorwiderstand zum Instrument benutzt wird. Auch bei diesem Versuch folgt eine dritte Einstellung des Potentiometers, bis das Instrument in Schaltung 53a den Skalenwert 3 (3 V) erreicht. In Schaltung 53b ergibt sich dann erneut ein geringerer Ausschlag, also eine geringere Ausgangsspannung. Die Zahlenwerte dieser Versuchsreihe zeigen, daß eine Spannungsverstärkung bei Kollektorschaltungen des Transistors nicht zu erreichen ist. Die Änderung der Ausgangsspannung ist sogar etwas geringer als die der Eingangsspannung.

Experiment 53a



Experiment 53b



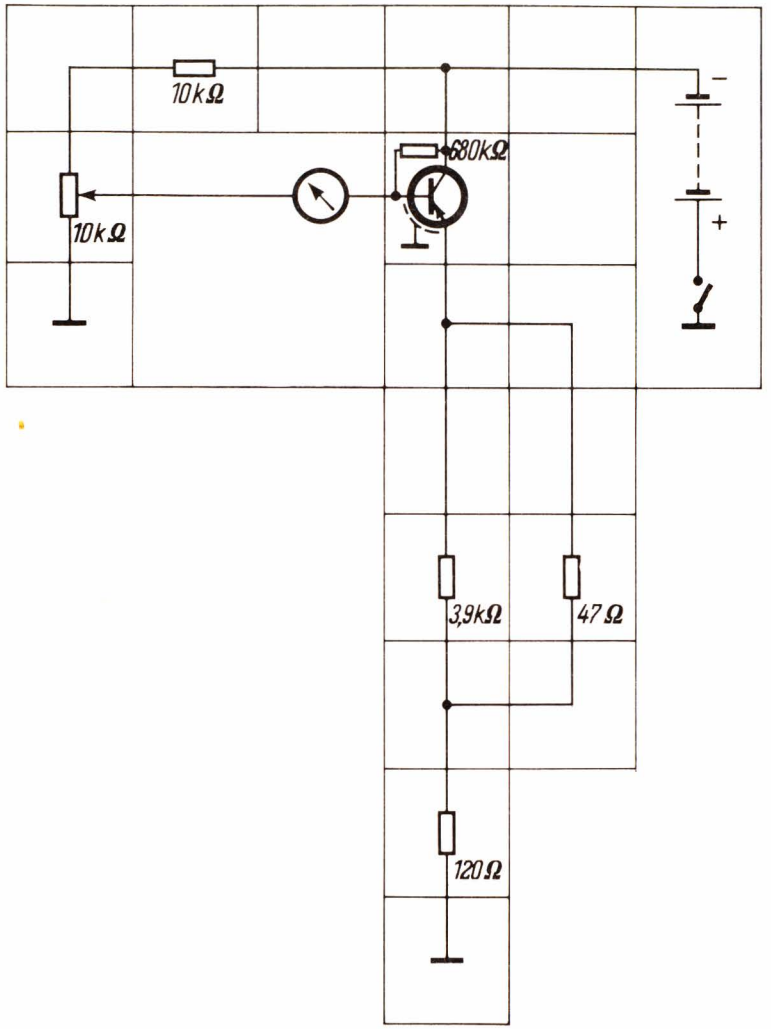
Stromverstärkung eines Transistors in Kollektorschaltung

Ordnet man das Instrument nicht parallel zu Ein- und Ausgang des Transistors, sondern direkt im jeweiligen Stromkreis nach den Schaltbildern 54 a und 54 b an, dann ermöglicht das die Messung der Stromverstärkung in Kollektorschaltung. Für den richtigen Strommeßbereich sorgt der Parallelwiderstand von 47 Ω, der beim Wechseln des Instrumentes von der Eingangs- auf die Ausgangsseite wie bei Versuch 52 im Stromkreis bleibt. Der Versuch wird wie die vorhergehenden durchgeführt, d. h. bei verschiedenen Stellungen des Potentiometers. Die Basisströme (in Schaltung 54 a) sind mit Null (bei ganz nach links gedrehtem Potentiometerknopf), 10 μA und 20 μA zu wählen und dabei nach Schaltung 54 b die zugehörigen Emitterströme zu messen. Aus den festgestellten Werten ersieht man, daß der Transistor in Kollektorschaltung eine kräftige Stromverstärkung hat.

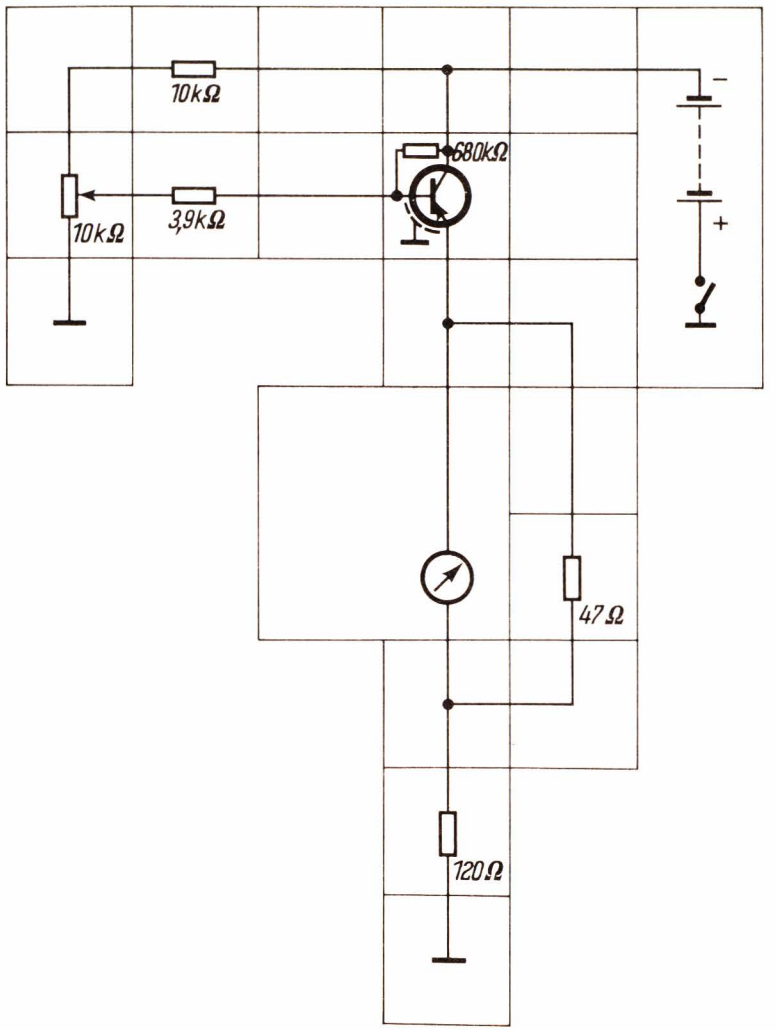
Die dritte Grundschaltung des Transistors, die Basisschaltung, wird bei den Versuchen des Experimentierkastens nicht benötigt. Die Ergebnisse der Versuche 51 bis 54 haben folgendes erkennen lassen:

Der Transistor ist ein verstärkendes Bauelement. Er kann eine kleine elektrische Eingangsgröße (Spannung oder Strom) in eine höhere Ausgangsgröße umwandeln. Dazu kann man den Transistor in verschiedenen Grundschaltungen betreiben. In der Emitterschaltung erhält man sowohl eine Spannungs- als auch eine Stromverstärkung, in der Kollektorschaltung nur eine Stromverstärkung. Ist die Basisspannung des Transistors Null, dann fließt auch im Ausgangskreis kein Strom. Der Transistor ist dann gesperrt. Erst wenn die Basisspannung ansteigt, beginnt ein Strom zu fließen.

Experiment 54a



Experiment 54b



Grundschaltung eines Schmitt-Triggers

Eine sehr wichtige Rolle spielen neben den reinen Verstärkerschaltungen in der Regeltechnik die sogenannten Kippschaltungen. Sie bestehen im allgemeinen aus zwei Transistoren und den dazugehörigen Bauelementen. Einer der beiden Transistoren ist bei betriebsfertiger Schaltung immer leitend, während der andere gesperrt ist. Führt man dem Eingang einer solchen Schaltung eine stetig ansteigende oder auch eine stoßartige (impulsförmige) Spannung zu, dann kippt sie beim Erreichen einer bestimmten Eingangsspannung von dem einen in den anderen Zustand um, d. h. der vorher leitende Transistor wird schlagartig gesperrt und umgekehrt.

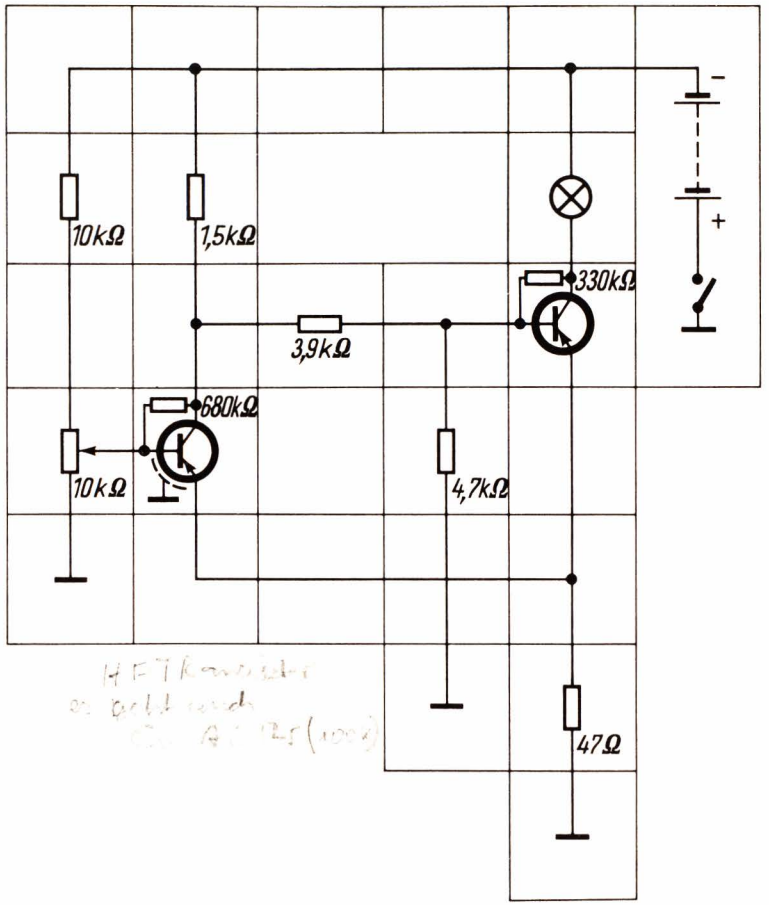
In Regelschaltungen wird häufig der sogenannte Schmitt-Trigger verwendet. Die Bezeichnung „Trigger" stammt aus dem Englischen und bedeutet so viel wie „Auslöser". Beim Erreichen einer bestimmten negativen Spannung am Eingang „kippt" die Schaltung um und kehrt beim Abnehmen der Eingangsspannung wieder in den Ruhezustand zurück. Die Grundschaltung dieses Schmitt-Triggers zeigt der nächste Versuch.

Die beiden Transistoren mit 680 kΩ und 330 kΩ sind hier im Gegensatz zu den bisher bekannten Verstärkerschaltungen gleichstrommäßig gekoppelt. Zwischen dem Kollektor des ersten Transistors und der Basis des zweiten Transistors ist kein Kondensator vorgesehen. Vielmehr erfolgt die Ankopplung des zweiten Transistors über einen Spannungsteiler aus den beiden Widerständen 3,9 kΩ und 4,7 kΩ. Beide Transistoren haben einen gemeinsamen Widerstand von 47 Ω in der Emitterleitung. Als Arbeitswiderstand für die Eingangsstufe wurden 1,5 kΩ gewählt, für die zweite Stufe ist die Glühlampe als Arbeitswiderstand vorgesehen. Die Basis der Eingangsstufe erhält über den Potentiometerbaustein, dem zur Begrenzung noch ein 10 kΩ-Festwiderstand vorgeschaltet ist, eine regelbare negative Spannung zugeführt.

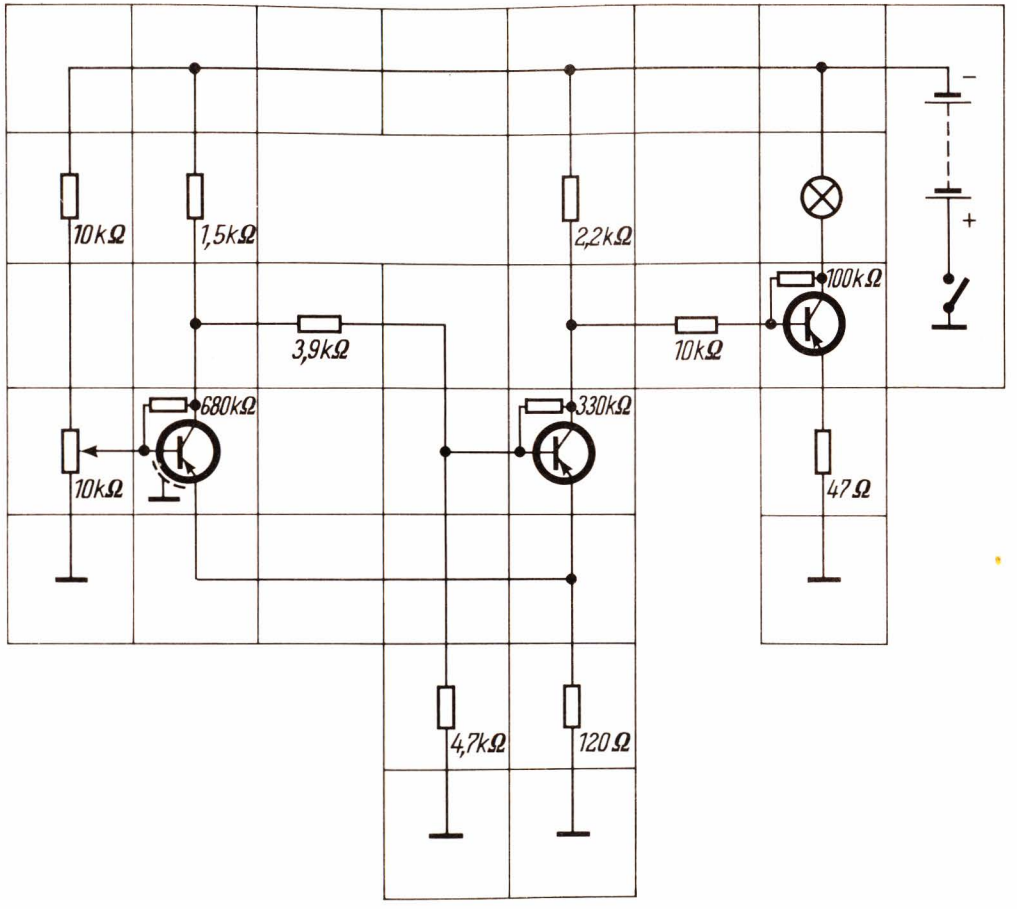
Beim Versuchsbeginn wird der Schleifer des Potentiometers zunächst ganz nach links gedreht und die Batterie eingeschaltet. Die Spannung an der Basis ist dann Null. Wie die letzten Versuche nachgewiesen haben, fließt auch kein Kollektorstrom. Der Eingangstransistor ist also gesperrt. Am Kollektor dieses Transistors ist daher bei Versuchsbeginn praktisch die volle Batteriespannung vorhanden, die über den Spannungsteiler 3,9/4,7 kΩ an die Basis des zweiten Transistors gelangt. Die verbleibende negative Spannung an dieser Stelle ist groß genug, um den Transistor voll auszusteuern, d. h. der Transistor ist leitend. Die Glühlampe brennt daher.

Jetzt wird der Schleifer des Potentiometers langsam zum negativen Ende hin bewegt. Zunächst wird sich dabei am bisherigen Zustand nichts ändern. Bei einer bestimmten Potentiometerstellung wird aber die Glühlampe schlagartig verlöschen. Wenn an der Basis des ersten Transistors eine Spannung erreicht wird, bei der auch dieser leitend wird, dann ändert sich dessen Kollektorspannung, und zwar um einen erheblich größeren Betrag, da der Transistor eine Spannungsverstärkung hat. Diese Änderung überträgt sich auf die Basis des zweiten Transistors (über den Spannungsteiler), der dadurch weniger leitend wird. Zusätzlich erfolgt über den gemeinsamen Emitterwiderstand von 47 Ω wieder eine „Rückkopplung". Dadurch beeinflussen sich die beiden Transistoren gegenseitig, und zwar so kräftig und so schnell, daß der sprungartige Wechsel von dem einen in den anderen Zustand der Schaltung auftritt. Wenn die kritische Spannung an der Basis des einen Transistors erreicht ist, „kippt" die Schaltung um. Der erste Transistor ist dann voll leitend und der zweite Transistor gesperrt. Die Glühlampe kann nicht mehr brennen. Dreht man jetzt den Potentiometerknopf wieder zurück, dann wird bei einer bestimmten Stellung der umgekehrte Fall eintreten, die Glühlampe wird wieder schlagartig aufleuchten und der erste Transistor sperren.

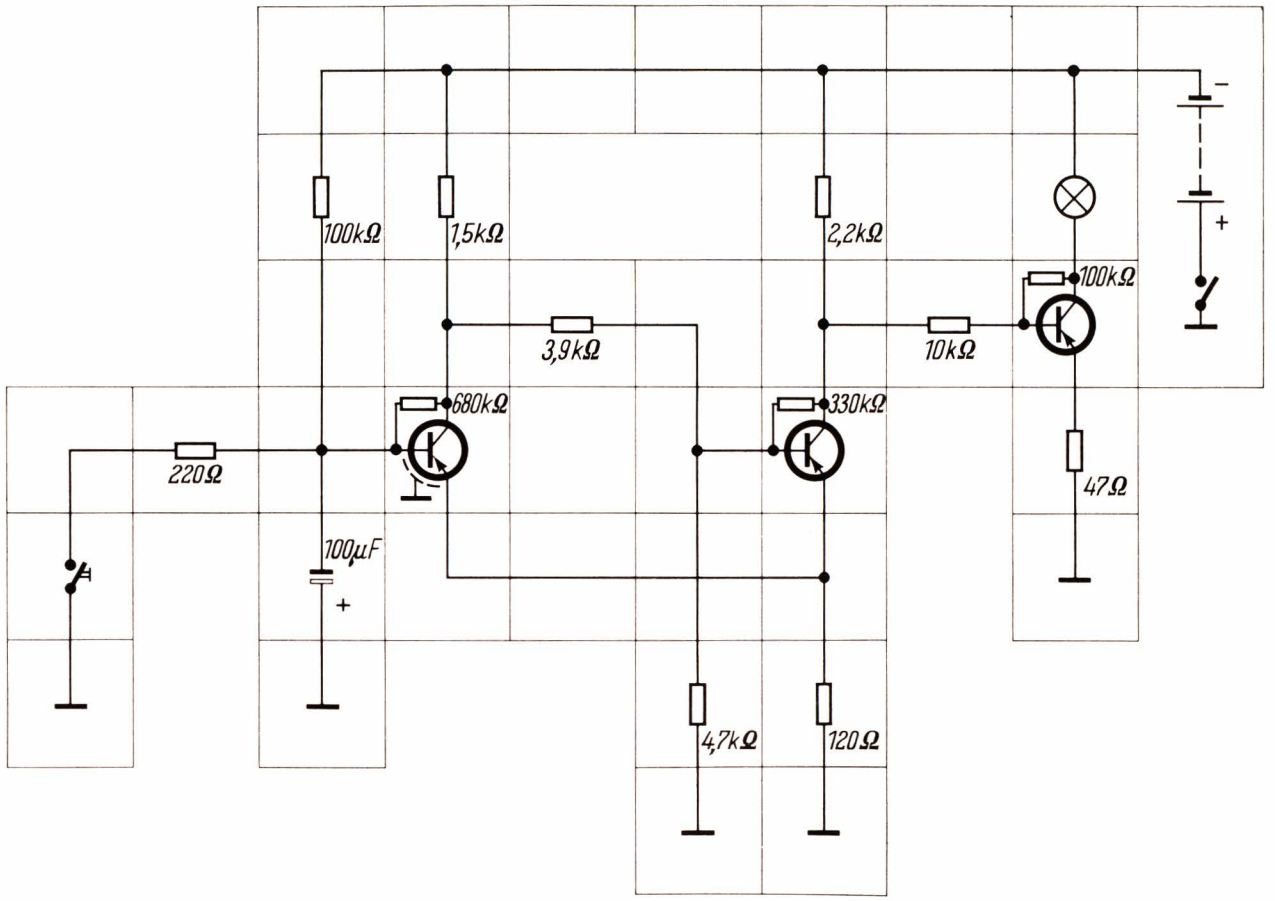
Beim Erreichen einer bestimmten Eingangsspannung (Schwellspannung) läßt sich mit der beschriebenen Schaltung also ein Schaltvorgang auslösen, der in der Regeltechnik oft gefordert wird. Bei dem Versuch fällt auf, daß zwischen dem Umschalten bei steigender und bei wieder abfallender Spannung verschiedene Stellungen des Potentiometers notwendig sind. Die Schaltung hat einen sogenannten „Ziehbereich". Meist ist es erwünscht, daß bei der kritischen „Schwellspannung" das Umkippen in der einen Richtung erfolgt und daß das Zurückkippen in den ursprünglichen Zustand auftritt, sobald die Eingangsspannung nur um einen sehr geringen Betrag zurückgeht. Bei der Versuchsschaltung 55 ist es deshalb nicht möglich, weil die sehr niederohmige Glühlampe als Arbeitswiderstand des zweiten Transistors ungünstige Betriebsbedingungen ergibt. Weit bessere Ergebnisse erzielt man, wenn man für den zweiten Transistor einen hochohmigen Arbeitswiderstand verwendet und zum Betrieb der Glühlampe eine Verstärkerstufe mit einem dritten Transistor nachschaltet.


10kΩ
1,5kΩ
330kΩ
3,9kΩ
680kΩ
10kΩ
4,7kΩ
47Ω
-
+

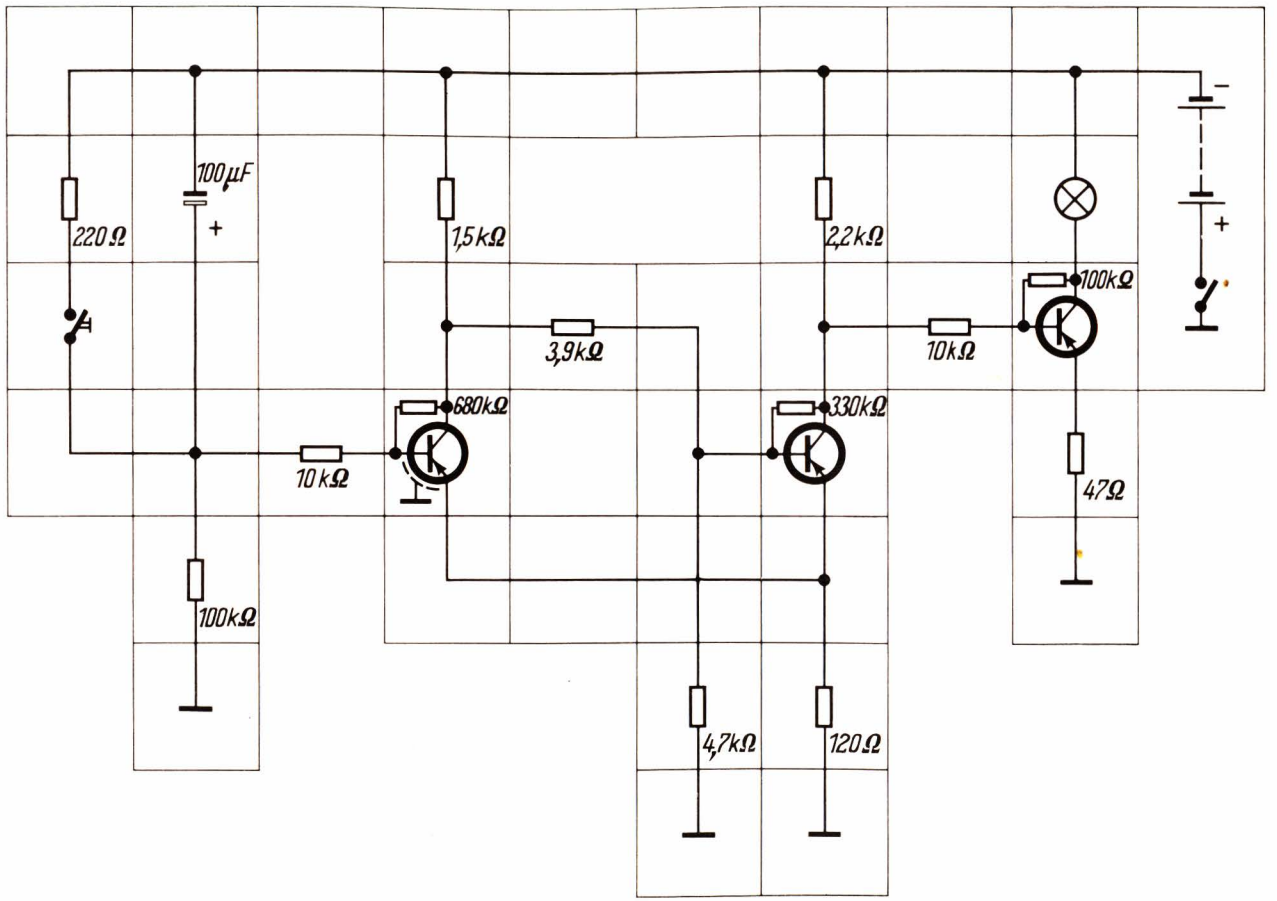
Die Schaltung des eigentlichen Schmitt-Triggers entspricht im Prinzip der des Versuches 55. Als Arbeitswiderstand für die zweite Stufe (des Transistors mit 330 kΩ) sind 2,2 kΩ vorgesehen, der gemeinsame Emitterwiderstand wurde auf 120 Ω erhöht. Über einen Widerstand von 10kΩ ist die Basis des Verstärkertransistors mit 100 kΩ an den Trigger angekoppelt. Die Glühlampe liegt jetzt in der Kollektorleitung des dritten Transistors, in dessen Emitterleitung noch ein Widerstand von 47 Ω eingefügt ist. Führt man jetzt den Versuch in der gleichen Weise durch, wie das bei dem letzten Aufbau erfolgte, dann wird man feststellen, daß die Umschaltpunkte beim Ein- und Ausschalten der Glühlampe wesentlich enger beieinander liegen. Wenn man den Schleifer des Potentiometers langsam zum negativen Ende hin dreht, wird die Glühlampe beim Erreichen der Schwellspannung einschalten. Im Gegensatz zum Versuch 55 wird sie aber schon bei ganz geringfügigem Zurückdrehen des Schleifers wieder verlöschen. Der „Ziehbereich" dieser Schaltung ist also wesentlich geringer. In der Schaltung 56 verhält sich die Glühlampe allerdings umgekehrt wie bei dem vorhergehenden Versuch. Sie schaltet ein, wenn die negative Spannung am Eingang des ersten Transistors ansteigt, und verlischt, wenn die Spannung wieder kleiner wird. Die grundlegenden Transistorversuche haben schon gezeigt, woran das liegt: die Ausgangsspannung eines Transistors in Emitterschaltung verhält sich umgekehrt wie die Eingangsspannung. Ein zusätzlicher Transistor kehrt daher auch die Betriebsweise der Glühlampe um.



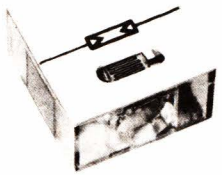
Die praktische Anwendung eines Schmitt-Triggers als Zeitgeber erfolgt im Versuch 57. Am Eingang des ersten Transistors ist ein 100 µF Kondensator angeordnet, der über den Tastenschalter und einen 220 Ω Widerstand entladen werden kann. Aufgeladen wird der Kondensator über einen 100 kΩ Widerstand vom negativen Pol der Batterie her.
Bei ausgeschalteter Batterie wird zunächst der Tastenschalter gedrückt, damit der 100 µF Elko entladen wird. Schaltet man die Batterie ein, dann wird die Glühlampe zunächst nicht aufleuchten. Über den 100 kΩ Widerstand lädt sich der Elko langsam auf, und die negative Spannung an der Basis des ersten Transistors wächst. Ist die Schwellspannung des Schmitt-Triggers erreicht, dann leuchtet die Glühlampe auf. Drückt man jetzt die Taste, so verlischt die Lampe und benötigt nach dem Loslassen des Tastenschalters wieder die gleiche Zeit bis zum erneuten Aufleuchten. Man hat also auf diese Weise einen einfachen Zeitschalter aufgebaut, dessen Schaltzeit man durch Verändern des Ladekondensators von 100 µF (beispielsweise durch Parallelschalten eines zweiten 100 µF Elkos) oder durch die Wahl des Ladewiderstandes (hier 100 kΩ) weitgehend regeln kann.



Ladewiderstand und Ladekondensator sind bei dieser Schaltung gegenüber dem letzten Versuch vertauscht. In die Basisleitung des Eingangstransistors ist ein Schutzwiderstand eingefügt, damit beim Auf- und Entladen des 100 µF Elkos kein zu hoher Basisstrom fließen und den Transistor zerstören kann. Entlädt man bei ausgeschalteter Batterie durch Tastendruck den Kondensator und schaltet danach die Batterie ein, so wird die Lampe sofort aufleuchten. Die Basisspannung am ersten Transistor steigt aber jetzt nicht an, sondern sie wird infolge der Aufladung des Elkos geringer. Beim Unterschreiten der Schwellspannung kippt die Schaltung um und die Lampe verlischt. Man kann dieses Schaltungsprinzip beispielsweise verwenden, wenn für photographische Vergrößerungen bestimmte Belichtungszeiten benötigt werden. Die Belichtung beginnt dann beim Einschalten des Netzschalters — hier durch den Batterieschalter dargestellt — und endet automatisch durch die Kondensatoraufladung und das Umkippen der Schaltung.



Der Photowiderstands-Baustein

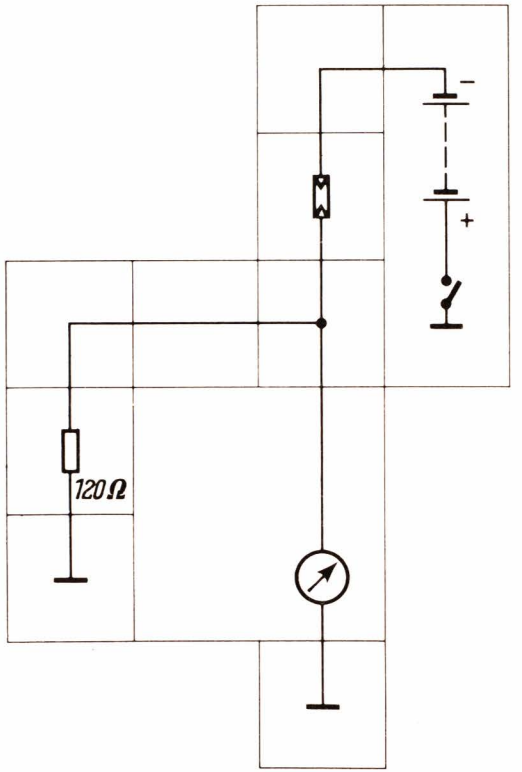


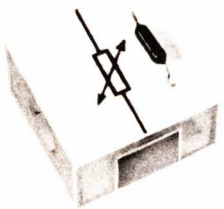
Neben den bereits bekannten Festwiderständen und den von Hand regelbaren Widerständen (Potentiometer, Regelwiderstand) kennt man noch verschiedene andere Widerstände, die ihre elektrischen Werte durch äußere Einflüsse selbsttätig verändern. Einer davon ist der Photowiderstand. Er besteht allgemein aus einer Trägerplatte, auf der eine dünne Schicht eines lichtempfindlichen Materials aufgebracht ist. Dieses Material ändert seinen elektrischen Widerstand in Abhängigkeit vom auftreffenden Licht. Wird das lichtempfindliche Material stark beleuchtet, dann hat es nur einen geringen Widerstand. Bei schwächerer Beleuchtung steigt der Widerstand entsprechend an. Der Experimentierkasten enthält einen Photowiderstand, bei dem Cadmium-Sulfid als lichtempfindliches Material dient. Er ist in einem Baustein der Grundgröße eingebaut. In der Deckplatte des Bausteines befindet sich ein Loch, durch das Licht auf den Photowiderstand treffen kann. Hält man das Loch zu, dann wird der eingebaute Photowiderstand verdunkelt. Der folgende Versuch soll die Wirkungsweise des Photowiderstandes zeigen.

Die Arbeitsweise eines Photowiderstandes

Die Batterie, der Photowiderstand und das Anzeigeinstrument sind in Reihe geschaltet. Parallel zum Instrument liegt ein Nebenwiderstand von 120 Ω, da der zu erwartende Strom für das Instrument allein zu groß wäre. Schaltet man die Batterie ein, dann wird der Zeiger des Instrumentes je nach Raumhelligkeit bis zu einem bestimmten Skalenwert ausschlagen. Hält man jetzt das Loch in der Deckplatte des Photowiderstands-Bausteines mit dem Finger zu, dann geht der Zeigerausschlag zurück. Beleuchtet man den Photowiderstand dagegen sehr stark, indem man beispielsweise mit einer Taschenlampe direkt in das Loch hineinleuchtet, dann wird der Zeigerausschlag größer als zuvor. Die Abhängigkeit des Photowiderstandes von der Beleuchtung ist somit erwiesen.

Diese Eigenschaft des Photowiderstandes wird zum Beispiel bei hochempfindlichen elektrischen Belichtungsmessern ausgenutzt, mit denen man die richtige Belichtungszeit und Blende beim Photographieren feststellen kann. Im Prinzip besitzt man daher mit der Versuchsschaltung 59 schon einen solchen Belichtungsmesser. Die Schaltungen von handelsüblichen Geräten dieser Art entsprechen in ihren Grundzügen dem Versuchsschaltbild 59. Man kann durch Belichtungsmesser mit Photowiderständen bereits Belichtungszeiten bestimmen, die bei der geringen Lichtstärke eines brennenden Streichholzes in einem Zimmer notwendig sind. Einfachere Belichtungsmesser, wie sie für normale Tageslichtaufnahmen genügen, enthalten allerdings keinen Photowiderstand, sondern ein Selen-Photoelement. Dieses gibt beim Auftreffen von Licht selbst eine Spannung ab, so daß keine zusätzliche Batterie zum Betrieb erforderlich wird. Die erreichbare Empfindlichkeit ist aber bei dem Photoelement erheblich geringer.

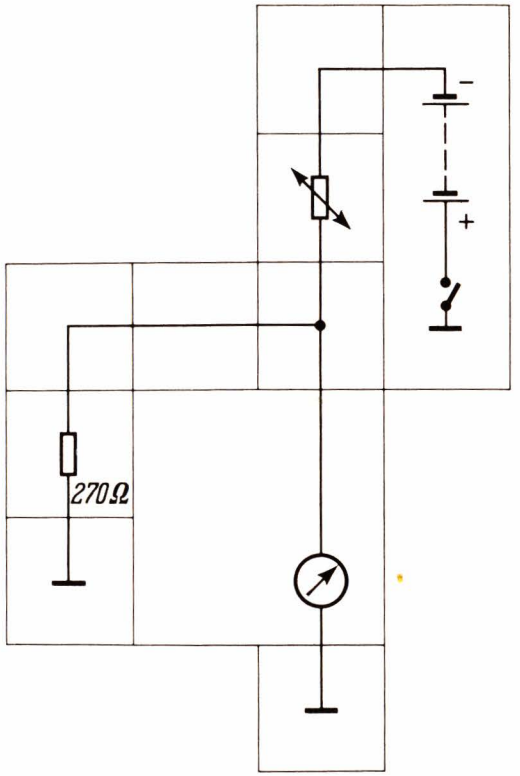




Als weiteren von äußeren Einflüssen abhängigen Widerstand findet man im Aufbaukasten 2 einen Heißleiter. Bei diesem Bauteil ändert sich der elektrische Wert in Abhängigkeit von der Temperatur. Wie der Name schon sagt, „leitet" der Heißleiter besser, wenn er „heiß" ist, d. h. sein elektrischer Widerstand wird um so geringer, je höher die umgebende Temperatur ist. Damit man diese Eigenschaft durch einen Versuch feststellen kann, ragt der Heißleiter aus der Deckplatte des betreffenden Bausteines heraus. Man kann ihn auf diese Weise leicht erwärmen.
Im Gegensatz zu diesem Bauelement kennt man seit einiger Zeit auch sogenannte Kaltleiter, bei denen der Widerstand mit steigender Temperatur zunimmt, d. h. sie leiten dann weniger gut.

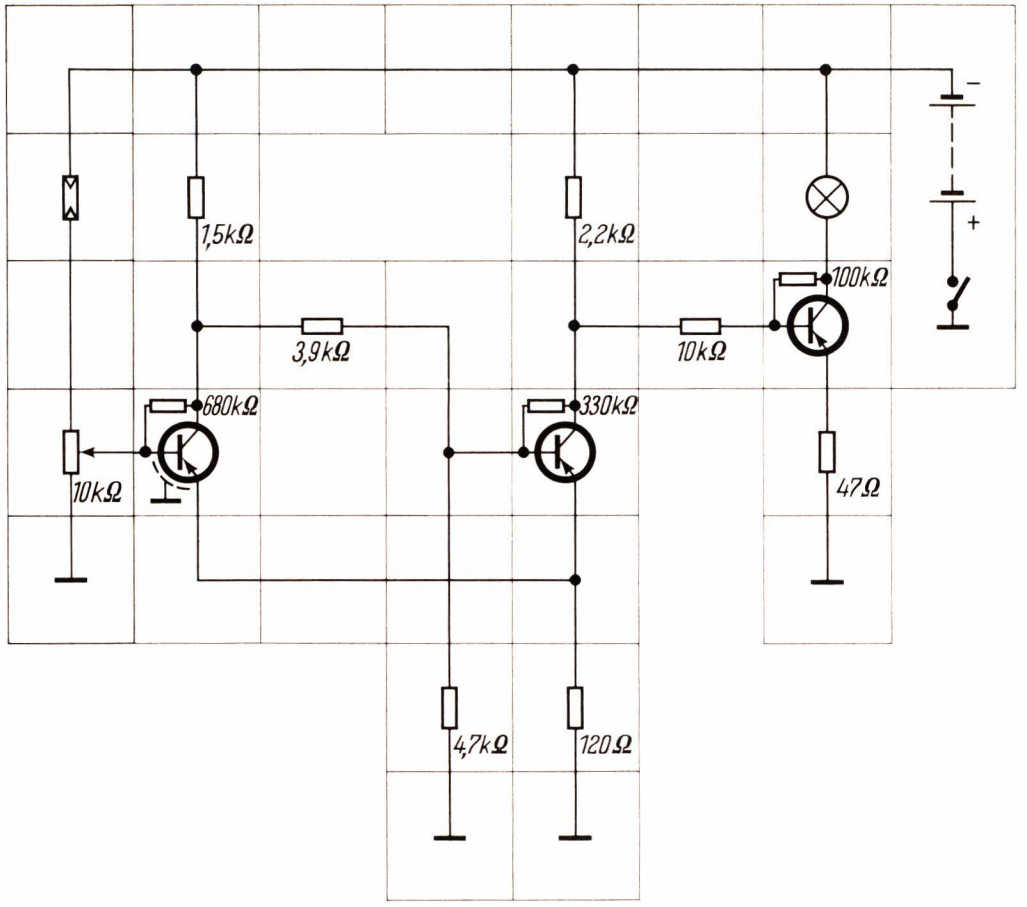
Die Arbeitsweise eines Heißleiters

Die Batterie, der Heißleiter und das Anzeigeinstrument sind in Reihe geschaltet. Das Instrument erhält wieder einen Parallelwiderstand, diesmal von 270 Ω. Beim Einschalten der Batterie und normaler Raumtemperatur von 20° C wird der Zeiger etwa bis zum Skalenwert 6 ausschlagen. Berührt man den Heißleiter mit dem Finger, so wird sein Widerstand — da die Körpertemperatur höher als die normale Raumtemperatur ist — geringer, und der Zeigerausschlag wird entsprechend ansteigen. Läßt man den Heißleiter los, dann kühlt er sich wieder ab, und der Zeigerausschlag geht zurück. Infolge der Wärmeträgheit des Heißleiters dauert die Abkühlung etwas länger, so daß auch der Zeigerausschlag nur langsam zurückgeht. Durch Anblasen des Heißleiters läßt sich der Vorgang etwas beschleunigen. Mit der Versuchsschaltung 60 besitzt man ein einfaches Temperaturmeßgerät.



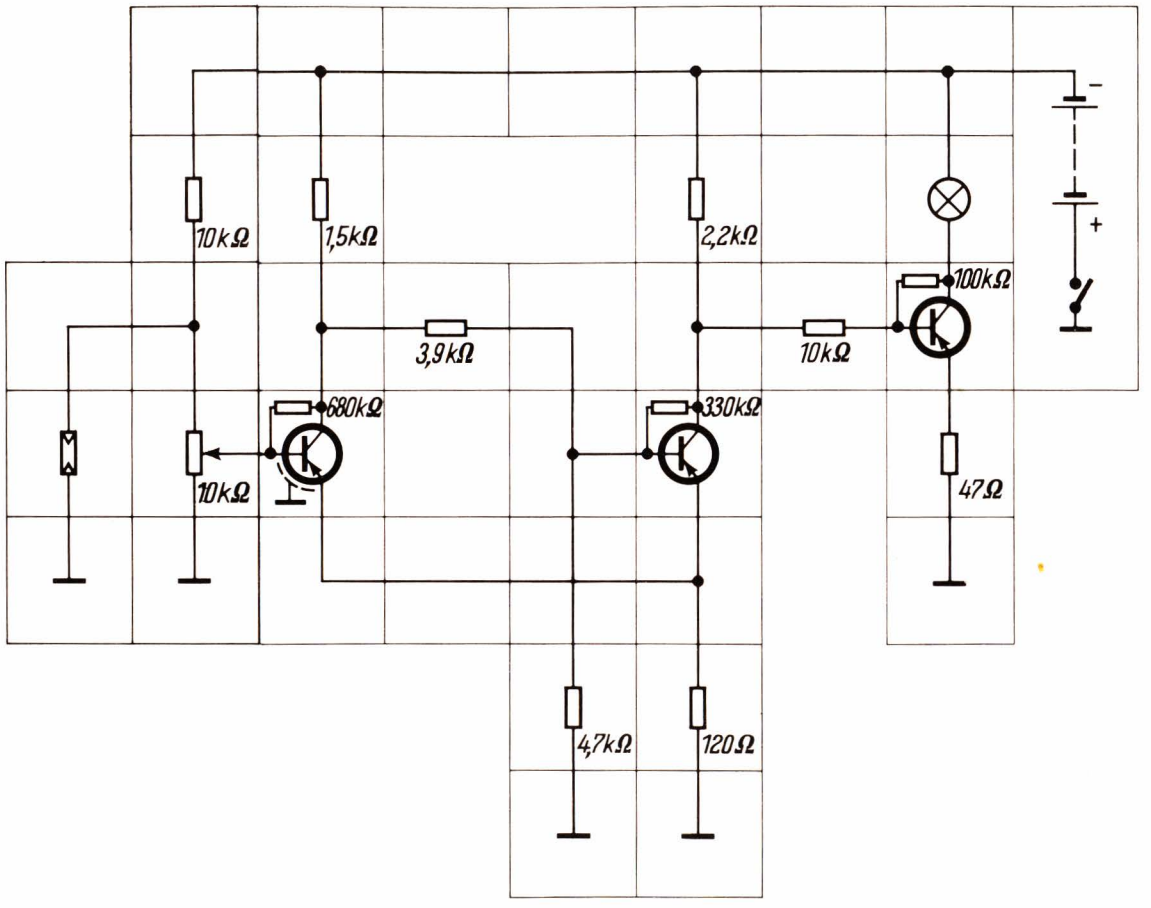
Der Photowiderstand als Steuerglied in einem Schmitt-Trigger

Die Grundschaltung dieses Versuches entspricht wieder dem bereits im Versuch 56 untersuchten Schmitt-Trigger mit nachfolgender Verstärkerstufe. Der Spannungsteiler am Eingang des Triggers besteht hier aus dem 10 kΩ Potentiometer-Baustein und dem Photowiderstand. Bei eingeschalteter Batterie wird das Potentiometer so eingestellt, daß die Glühlampe gerade leuchtet, das heißt, man wählt den Arbeitspunkt knapp oberhalb der „Schwellspannung". Verdunkelt man den Photowiderstand durch Zuhalten des Loches in der Deckplatte, so wird die am Trigger-Eingang auftretende Spannung geringer, da der Photowiderstand hochohmiger wird. Als Folge davon verlischt die Lampe. Gibt man die Öffnung frei, dann steigt die Eingangsspannung wieder an, und die Lampe leuchtet erneut auf. Die Schaltung ist sehr empfindlich. Man muß das Loch in der Deckplatte nicht völlig abdecken. Es genügt zum Beispiel schon, wenn die Hand in einiger Entfernung von der Lichteintrittsöffnung hin und her bewegt oder wenn die Raumbeleuchtung verändert wird.



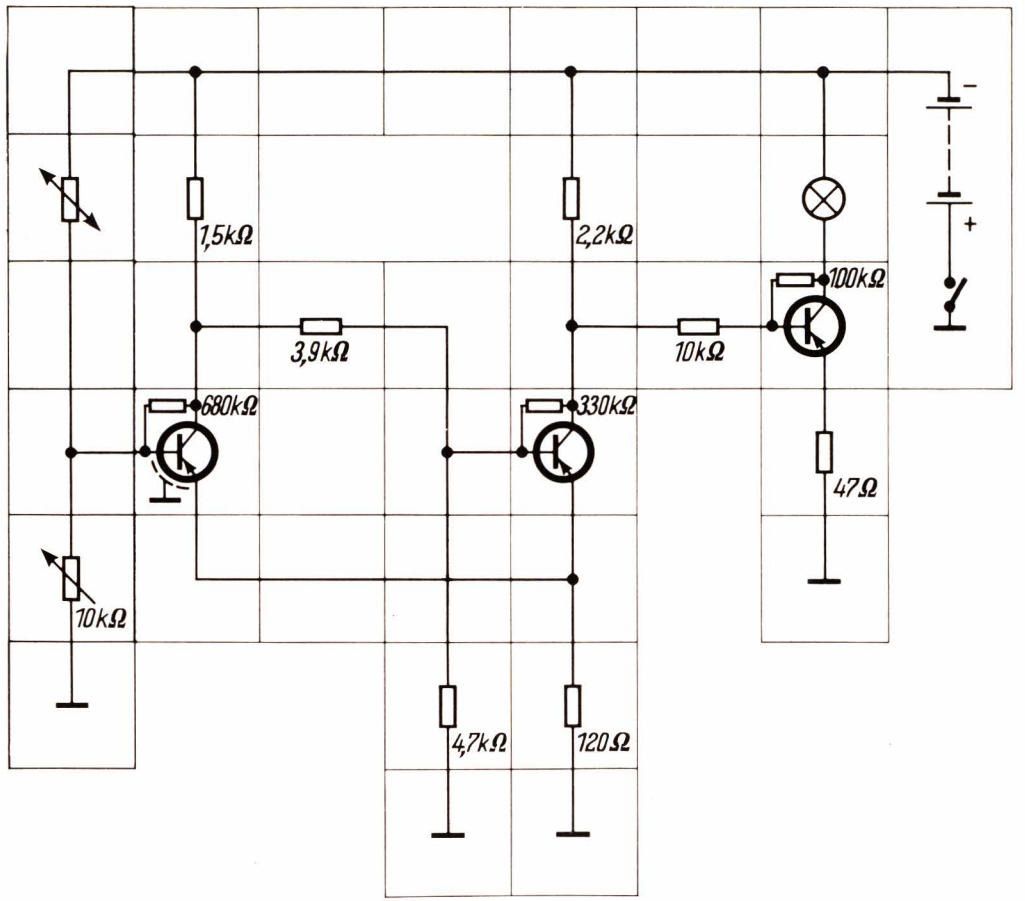
Auch hier findet man die gleiche Grundschaltung des Schmitt-Triggers. In dieser Schaltung arbeitet der Photowiderstand jedoch umgekehrt. Bei normaler Raumbeleuchtung soll die Glühlampe gerade noch nicht brennen. Nimmt die Beleuchtung ab, dann schaltet die Glühlampe ein; bei steigender Beleuchtung schaltet sie wieder aus. Der Arbeitspunkt wird wieder mit dem Potentiometer eingestellt, das hier parallel zum Photowiderstand liegt. Man greift so nur einen Teil der am Photowiderstand verbleibenden Spannung ab. In Reihe dazu liegt ein 10 kΩ Festwiderstand. Das Potentiometer wird so eingestellt, daß die Eingangsspannung im Ruhezustand etwas unterhalb der „Schwellspannung" ist.

Die Versuchsschaltung 62 entspricht in ihrer Wirkungsweise dem elektronischen Dämmerungsschalter, wie er beispielsweise bei der Straßenbeleuchtung angewendet wird. Unterschreitet das Tageslicht am Abend einen bestimmten Betrag, dann wird die elektrische Straßenbeleuchtung — hier durch den Glühlampenbaustein dargestellt — eingeschaltet. Nimmt das Tageslicht am Morgen wieder zu, dann schaltet der Dämmerungsschalter die Straßenbeleuchtung automatisch wieder ab. Auch in Kraftfahrzeugen kann man einen solchen Dämmerungsschalter einbauen, um das Standlicht bzw. Parklicht beim Einbruch der Dunkelheit automatisch einzuschalten.

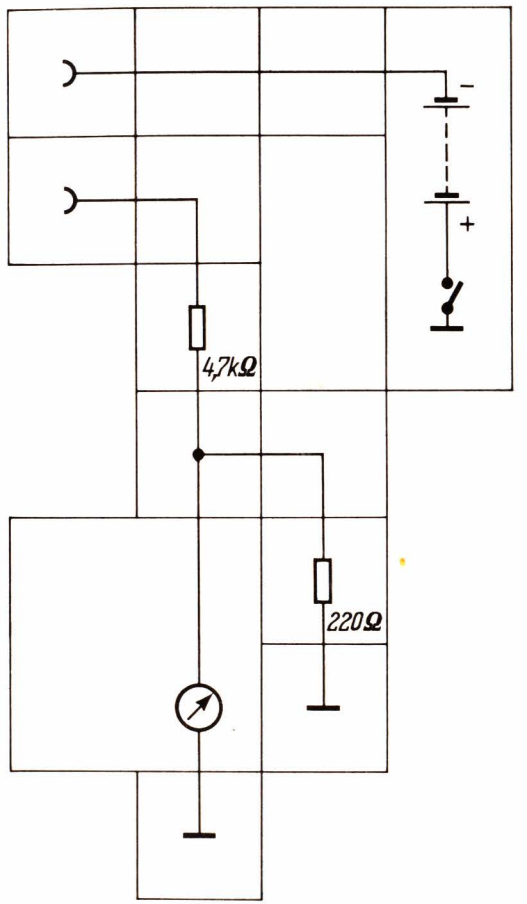


Eine Regelschaltung für Temperaturen

Der Eingangsspannungsteiler der bekannten Schmitt-Trigger-Schaltung besteht hier aus dem Heißleiter und dem 10 kΩ Potentiometer. Mit dem Potentiometer stellt man wieder den Arbeitspunkt ein, und zwar soll hier bei kaltem Heißleiter die Glühlampe gerade noch nicht aufleuchten. Berührt man den Heißleiter mit dem Finger oder erwärmt ihn vorsichtig, dann leuchtet die Lampe auf. Eine solche Einrichtung wird benötigt, wenn beispielsweise beim Erreichen einer bestimmten Temperatur eine Alarmanlage ausgelöst werden soll. Auch bei Heizöfen in der Industrie, die auf eine ganz bestimmte Temperatur aufgeheizt werden müssen, kann man dieses Schaltungsprinzip zur Regelung verwenden. Als Temperaturfühler im Ofen — wobei allerdings nur verhältnismäßig geringe Temperaturen auftreten dürfen — dient dort ein Heißleiter. Ist die gewünschte Temperatur erreicht, dann spricht der Schmitt-Trigger an, ein Schaltvorgang wird ausgelöst, und die Heizung schaltet ab. Unterschreitet die Ofentemperatur einen bestimmten Wert, dann wird die Heizung wieder eingeschaltet.

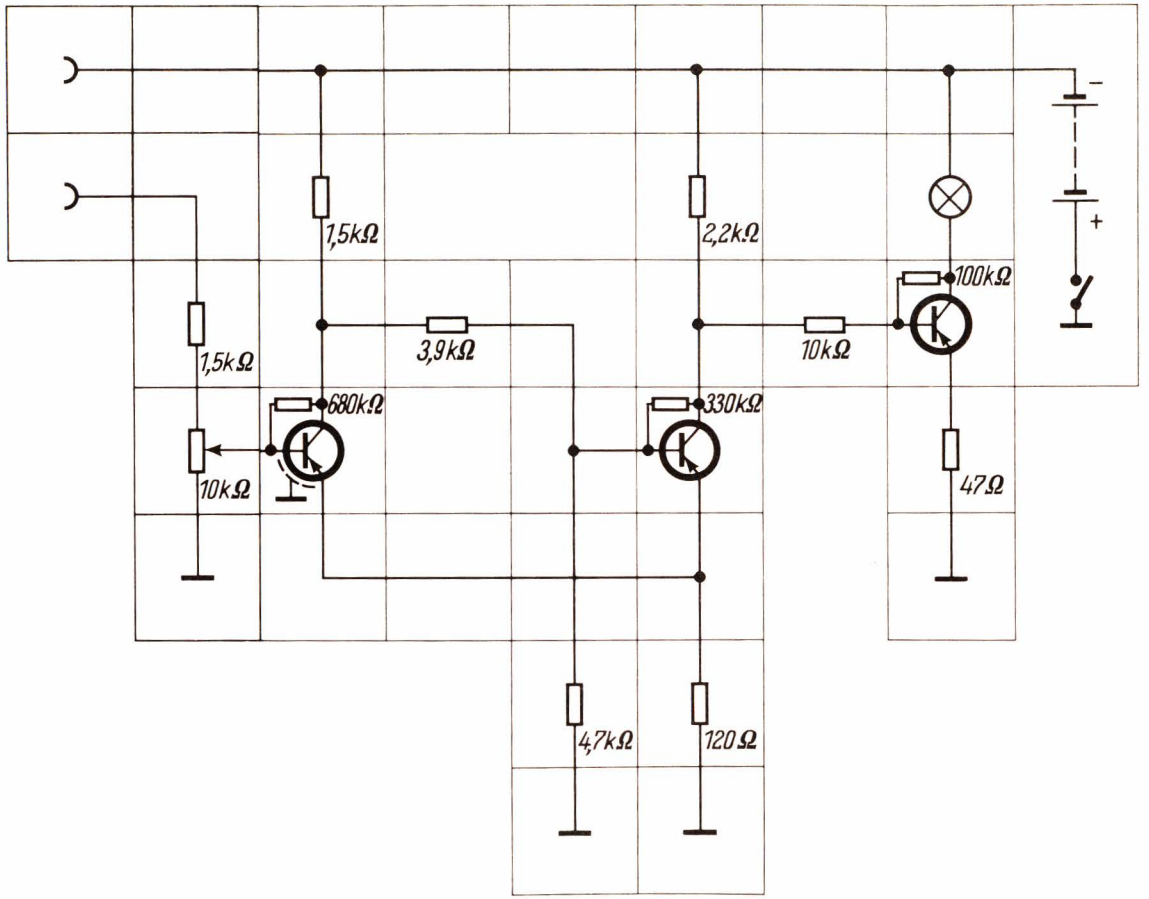


Für die beiden folgenden Versuche benötigt man zusätzlich zu den Bausteinen des Experimentierkastens zwei isolierte Drahtstücke und ein Gefäß aus Glas oder Porzellan. An den Drähten ist jeweils an einem Ende die Isolierung ca. 5 mm zu entfernen, und am anderen Ende werden etwa 50 mm des Drahtes freigelegt.
Die kurzen freien Enden der Drähte werden in die beiden Buchsenbausteine des Experimentierkastens gesteckt; die langen Enden hängt man in das mit normalem Leitungswasser gefüllte Gefäß. Die Drahtenden sollen etwa 15 mm voneinander entfernt in die Flüssigkeit eintauchen. Die Schaltung zeigt, daß nunmehr die Batterie, die beiden Drähte im Wasserglas, ein Widerstand von 4,7 kΩ und das Instrument in Reihe liegen. Parallel zum Instrument ist zur Strombegrenzung noch ein Nebenwiderstand von 220 Ω angeordnet. Bei eingeschalteter Batterie wird das Instrument bis zu einem bestimmten Skalenwert ausschlagen. Man kann nun die beiden Drähte bei eingeschalteter Spannung mehr oder weniger tief in die Flüssigkeit eintauchen. Der Ausschlag des Instrumentes wird sich dabei deutlich ändern, und zwar wird er um so größer, je tiefer die Drähte (die „Elektroden") in die Flüssigkeit getaucht werden. Das Leitungswasser stellt somit auch einen elektrischen Leiter dar. Sein Widerstand ist abhängig von der Eintauchtiefe der Elektroden, deren Abstand und der Zusammensetzung der Flüssigkeit. Taucht man die Elektroden bis zu einer gewissen Tiefe ein und läßt sie in dieser Stellung, dann kann man durch Hinzufügen von etwas Kochsalz in das Wasser ebenfalls einen größeren Ausschlag des Zeigers erreichen.
Derartige Feuchtigkeitsmeßgeräte lassen sich vielfältig verwenden. So kann man das Prinzip beispielsweise für einen Regenfühler benutzen. Legt man die beiden Elektroden — die man dann zweckmäßig größer gestaltet — ins Freie und führt die Anschlüsse an die dargestellte Schaltung, so kann man einen beginnenden Regen am Instrumentenausschlag im Zimmer erkennen. Ebenfalls sehr nützlich ist ein Feuchtigkeits-Meßgerät bei der Pflege von Zimmerpflanzen. Die beiden Elektroden werden in diesem Falle in die Topferde gesteckt und über entsprechend lange Anschlußkabel mit der Schaltung verbunden. Je nach der Feuchtigkeit der Blumenerde erzielt man wiederum einen mehr oder weniger starken Zeigerausschlag des Anzeigeinstrumentes.
Zweckmäßig ist es jedoch in solchen Fällen, wenn man auf die stufenlose Anzeige verzichtet und statt dessen eine Anlage verwendet, die beim Erreichen bzw. Unterschreiten einer gewünschten Feuchtigkeit schlagartig ein Signal (Licht, Hupe oder dergleichen) abgibt.



Der Schmitt-Trigger als Feuchtigkeitsanzeiger

Die erwähnte Signalabgabe bei einer ganz bestimmten Feuchtigkeitsgrenze ermöglicht die Versuchsschaltung 65. Es handelt sich wieder um den aus bisherigen Versuchen bekannten Schmitt-Trigger. Über die beiden Buchsenbausteine verbindet man die Anschlußdrähte der Elektroden mit der Schaltung. Als Elektroden für die Überwachung der Feuchtigkeit von Blumenerde kann man beispielsweise zwei kurze Stricknadeln benutzen. Hat man noch eine zweipolige Lüsterklemme zur Hand (in jedem Elektro- und Radiogeschäft zu haben), dann kann man die beiden Nadeln auf der einen Seite der Lüsterklemme und die Zuführungsdrähte auf der anderen Seite anklemmen. Man besitzt so eine zuverlässige und genügend starre Elektroden-Anordnung. Die beiden Stricknadeln werden für den Versuch in einen Topf mit zunächst ziemlich trockener Erde gesteckt und über die Anschlußdrähte an die Versuchsschaltung 65 geführt. Das Potentiometer ist jetzt so einzustellen, daß die Glühlampe gerade noch nicht brennt, also knapp unterhalb der Schwellspannung. Gießt man jetzt langsam Wasser in die Blumenerde, dann schaltet die Lampe bei einer bestimmten Feuchtigkeit ein.



Ein astabiler (nicht stabiler) Multivibrator als Blinkanlage

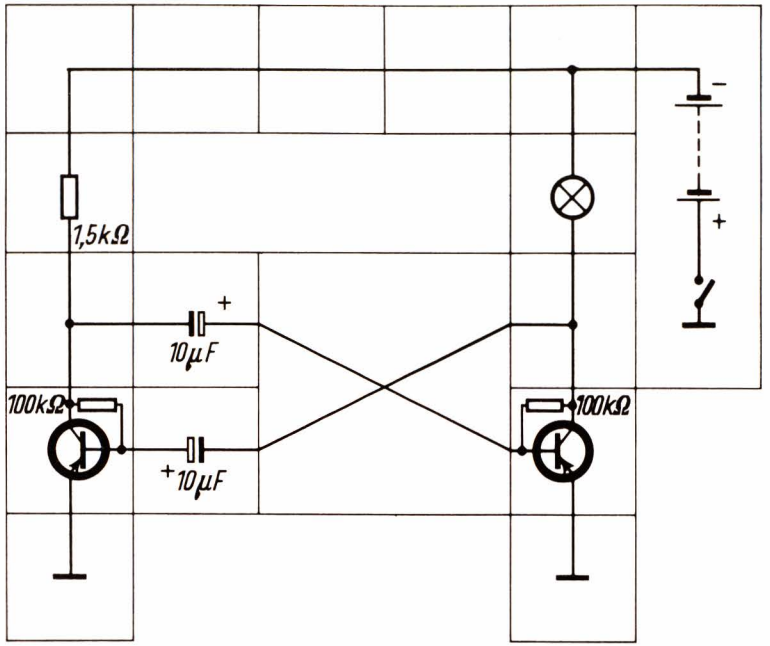
Zu den elektronischen Kippschaltungen gehören auch die sogenannten Multivibratoren. „Vibrieren" ist ein anderer Ausdruck für „schwingen", „multi" bedeutet „vielfach". Wörtlich übersetzt würde „Multivibrator" also etwa „Vielfachschwinger" heißen. Wie der zuvor ausführlich untersuchte Schmitt-Trigger, so haben auch diese Schaltungen zwei Betriebszustände. Man unterscheidet zwischen dem monostabilen, dem bistabilen und dem astabilen Multivibrator. Was diese einzelnen Begriffe bedeuten, wird in den nachfolgenden Versuchen erläutert. Zunächst soll ein astabiler Multivibrator aufgebaut werden.

Die Versuchsschaltung 66 zeigt das Prinzip des sogenannten astabilen Multivibrators. Aus der Bezeichnung „astabil" geht hervor, daß diese Schaltung keinen stabilen Betriebszustand besitzt, sondern immer zwischen den beiden möglichen Betriebszuständen hin und her kippt. Als Arbeitswiderstand für den linken Transistor wurde 1,5 kΩ gewählt; für den rechten Transistor dient die Glühlampe als Arbeitswiderstand. Der Kollektor des einen Transistors ist jeweils mit der Basis des anderen über einen Elko von 10 µF verbunden. Auf die richtige Polung der Elkos ist zu achten. Der positive Anschluß des Elkos liegt immer an der Basis des Transistors. Bis auf die unterschiedlichen Arbeitswiderstände im Kollektorkreis ist die Schaltung vollkommen symmetrisch.

Schaltet man die Batterie ein, dann müßten an sich beide Transistoren zugleich leitend sein. In der Praxis wird jedoch immer einer der beiden Transistoren zuerst einschalten, da die verwendeten Einzelteile niemals völlig gleich sind. Das kann zum Beispiel der linke Transistor sein. Über den Koppelkondensator wird der andere Transistor dann gesperrt.

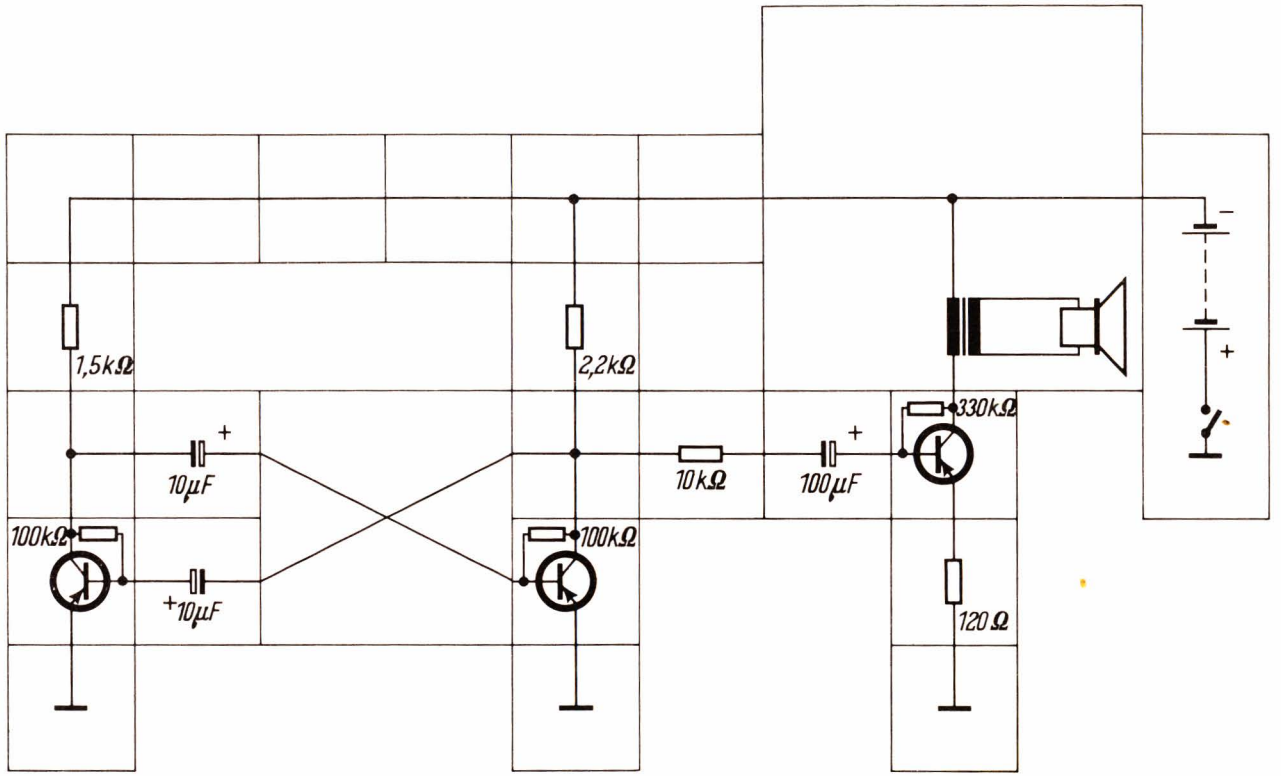
Die Koppelkondensatoren laden sich nun je nach Betriebszustand der Schaltung auf. Wenn ein bestimmter Ladezustand und damit eine bestimmte Spannung an der Basis des jeweiligen Transistors erreicht ist, kippt die Schaltung schlagartig in den anderen Betriebszustand um, d. h. hier würde dann der rechte Transistor leitend und der linke gesperrt. Da die Schaltung symmetrisch ist, bleibt auch dieser Zustand nur für die Dauer der Ladezeit des anderen Elkos bestehen. Die beiden Transistoren wechseln sich in ihren Betriebszuständen ununterbrochen gegenseitig ab. Dabei leuchtet die Glühlampe jedesmal im Takte der Kippfrequenz auf, wenn der rechte Transistor leitend ist und verlischt wieder, wenn der linke Transistor leitet. Die Geschwindigkeit des Wechsels, also die Kippfrequenz, ist von den verwendeten Widerständen und Kondensatoren abhängig. Tauscht man einen der beiden 10 µF Elkos oder auch beide gegen solche mit 100 µF aus, dann wird die Ein- bzw. Ausschaltzeit der Glühlampe oder beide entsprechend länger.

Der Versuchsaufbau 66 ist somit als Blinkschaltung, für die es in der Praxis viele Anwendungsmöglichkeiten gibt, zu gebrauchen. Derartige Blinkschaltungen lassen sich beispielsweise für die Richtungsanzeige in Kraftfahrzeugen verwenden.


1,5kΩ
+
10μF
100kΩ
+
10μF
100kΩ
−
+

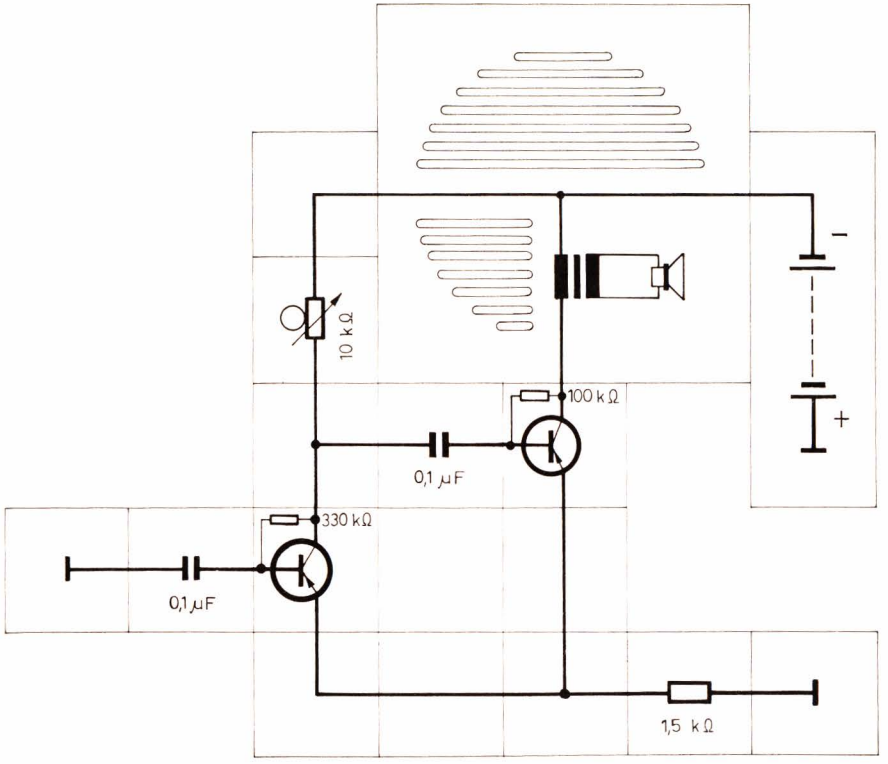
Ein astabiler Multivibrator als elektronischer Taktgeber

Der linke Teil der neuen Schaltung entspricht im Prinzip dem vorigen Versuch. Als Arbeitswiderstände sind hier 1,5 und 2,2 kΩ eingesetzt. Über einen Widerstand von 10 kΩ und einen Elko von 100 µF ist der Kollektor des einen zum Multivibrator gehörenden Transistors mit der Basis einer einfachen Verstärkerstufe verbunden, in deren Kollektorkreis der Lautsprecher liegt. Im Emitterkreis dieser Verstärkerstufe ist zur Strombegrenzung ein 220 Ω Widerstand eingefügt.
Bei eingeschalteter Batterie arbeitet der astabile Multivibrator wie im Versuch 66. Beim Umkippen von dem einen in den anderen Betriebszustand entsteht am Kollektor des zweiten Transistors ein Spannungsstoß (ein Impuls), der über den 10 kΩ Widerstand und den 100 µF Elko auf die Basis des dritten Transistors gelangt und im Lautsprecher schließlich durch ein deutliches Knacken wahrgenommen werden kann. Die Einrichtung läßt sich als Taktgeber (Metronom) für die verschiedensten Zwecke, so zum Beispiel beim Üben im Musikunterricht, gebrauchen. Die Taktfrequenz, also der zeitliche Abstand der Knackgeräusche, ist dabei wieder vom elektrischen Wert der verwendeten Kondensatoren und Widerstände abhängig.



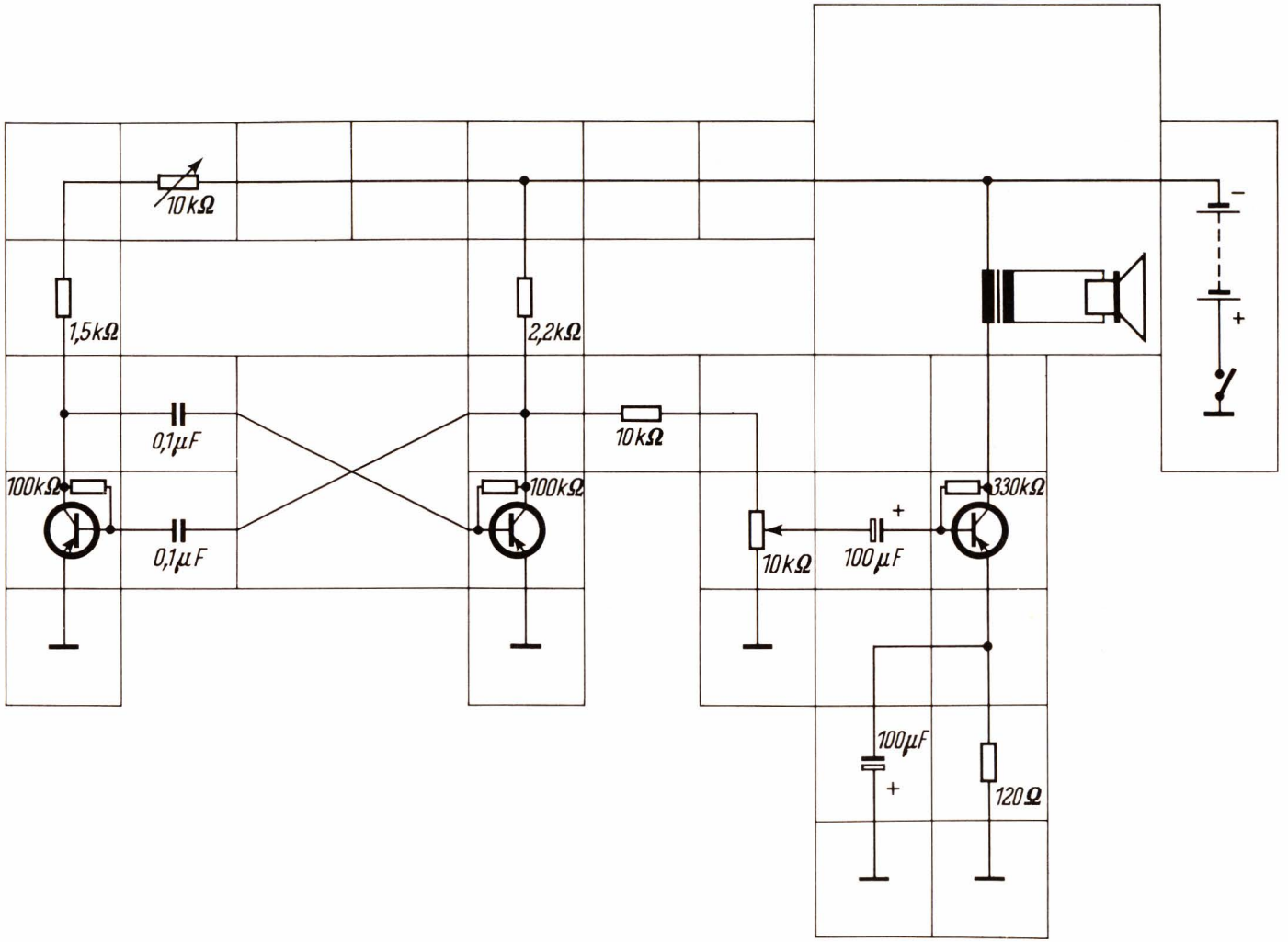
Astabiler Multivibrator in Emitterkopplung

Bei dieser Multivibratorschaltung geht der eine Kopplungsweg über den Kondensator C_1, der zweite über den gemeinsamen Emitterwiderstand. Die Frequenz ist mit dem Regler R_2 einstellbar. Die Tonspannung kann auch an R_{S_1} oder R_{S_2} abgenommen werden.



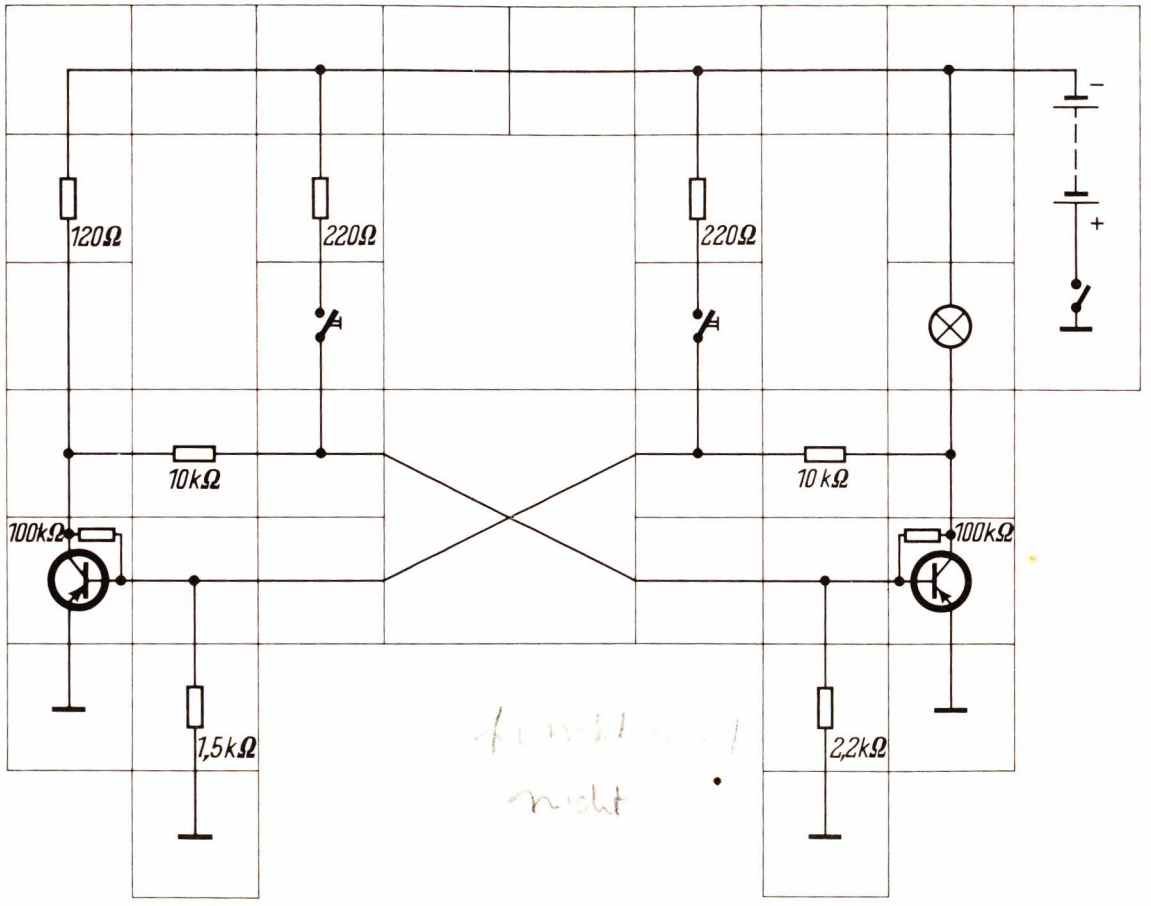
Ein astabiler Multivibrator als Tongenerator

In den beiden vorigen Versuchen wurde gezeigt, daß die Kippfrequenz des astabilen Multivibrators von der elektrischen Größe der Bauteile abhängt. Bei diesen Schaltungen wurden Elkos von 10 bzw. 100 µF als zeitbestimmende Kondensatoren verwendet. Die Kippfrequenz war dabei verhältnismäßig gering, so daß man jeden einzelnen Kippvorgang an der Glühlampe sehen bzw. als Knackgeräusch im Lautsprecher hören konnte. Nun kann man aber die Kippfrequenz wesentlich höher wählen, und zwar so, daß sie in den Tonfrequenzbereich kommt. Man kann diesen schnellen Wechsel im Betriebszustand der beiden Transistoren nach entsprechender Verstärkung dann im Lautsprecher als Dauerton wahrnehmen. Im Schaltbild 68 sind die bisher im Multivibratorteil enthaltenen Elkos gegen Kondensatoren von je 0,1 µF ausgetauscht. Im Kollektorkreis des einen Transistors ist zudem noch der 10 kΩ Regelwiderstands-Baustein angeordnet. Zur Lautstärkeregelung dient hier wieder das 10 kΩ Potentiometer, das zwischen dem Ausgang des Multivibrators und dem Eingang der Verstärkerstufe liegt. Bei eingeschalteter Batterie beginnt der Multivibrator zu arbeiten. Die erzeugte Kippfrequenz ist bei aufgedrehtem Lautstärkeregler als Ton zu hören. Die Tonhöhe läßt sich dabei durch Verdrehen des Regelwiderstandes im Kollektorkreis linken des Transistors regeln. Auch durch Austauschen des einen 0,1 µF Kondensators gegen den mit 47 nF kann man eine Änderung der Tonhöhe — also der Kippfrequenz — erreichen. Nachdem im Versuch 42 bereits ein Tonfrequenzgenerator aufgebaut wurde, besitzt man jetzt mit dem Versuchsaufbau 68 ein zweites Gerät dieser Art mit einem ganz anderen Schaltungsprinzip. Bei genauer Beobachtung wird man feststellen (notfalls durch nochmaligen Aufbau der Schaltung 42 zum Vergleich), daß bei der Schaltung 68 der Klang des Tones gegenüber der Schaltung 42 auch bei gleicher Tonhöhe und Lautstärke ganz anders ist. Die Schaltung 42 erzeugte nämlich nur die reine Grundfrequenz. Bei der Schaltung 68 dagegen werden durch das schlagartige Umschalten der beiden Transistoren neben der Grundfrequenz auch noch zusätzlich sogenannte Oberwellen gebildet, wodurch die Klangfarbe des Tones eine ganz andere wird.


10 kΩ
1,5 kΩ
2,2 kΩ
0,1 µF
10 kΩ
100 kΩ
100 kΩ
330 kΩ
0,1 µF
10 kΩ
100 µF
100 µF
120 Ω

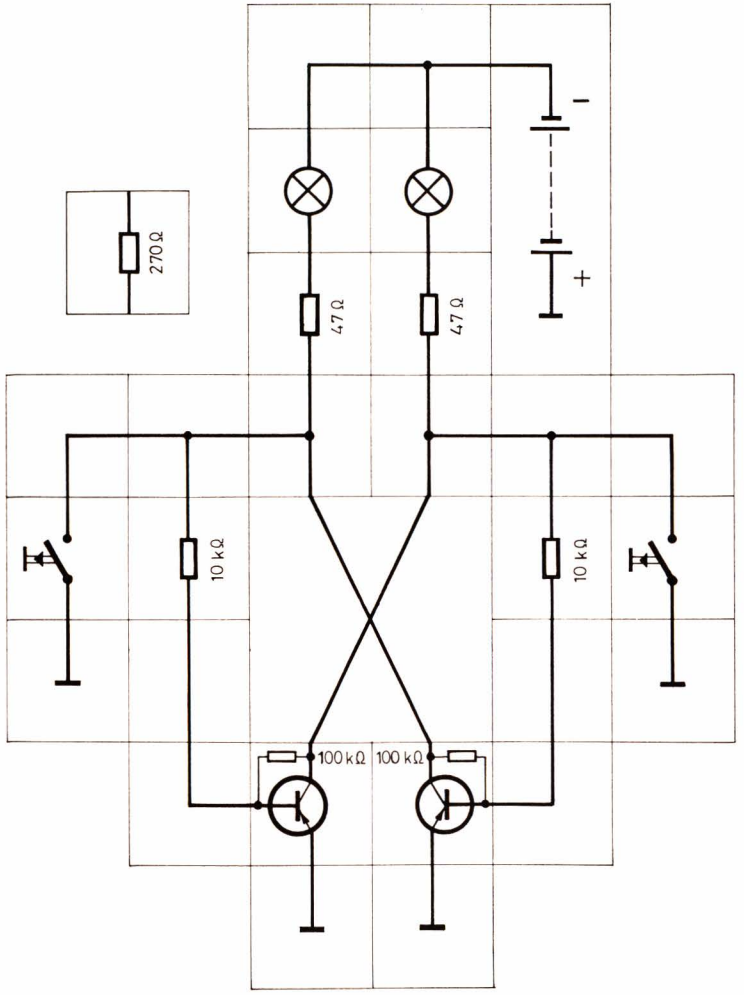
Die Schaltung 69 stellt das Prinzip eines bistabilen Multivibrators dar. Bei dieser Anordnung gibt es zwei (bi = zwei) Betriebszustände, die hier über die beiden Tastenschalter eingeschaltet werden können. Bis auf die unterschiedlichen Widerstände zwischen der Basis der Transistoren und dem Masseanschluß und die verschiedenen Arbeitswiderstände im Kollektorkreis (120 Ω Widerstand und Glühlampe) ist die Schaltung vollkommen symmetrisch aufgebaut. Beim Einschalten der Batterie wird einer der beiden Transistoren leitend, der andere ist dann gesperrt. Drückt man jetzt abwechselnd die linke und die rechte Taste, so kippt der bistabile Multivibrator jedesmal von dem einen in den anderen Betriebszustand um und verbleibt dort so lange, bis die andere Taste gedrückt wird. Dabei leuchtet die Lampe auf, wenn man die linke Taste betätigt und verlischt wieder beim Drücken der rechten.

In der Praxis wird durch geeignete Verriegelungsschaltungen zumeist dafür gesorgt, daß man nicht zwei getrennte Eingänge, wie hier zwei Tasten, sondern nur einen gemeinsamen Eingang — im einfachsten Falle also eine Taste — benötigt. Drückt man in einer solchen Schaltung die Taste, so wird bei jeder Betätigung der gleichen Taste die Schaltung immer von dem einen in den anderen Zustand gekippt. Weit verbreitet sind bistabile Multivibratoren, zum Beispiel in Zählschaltungen und bei elektronischen Rechenmaschinen.



Bistabiler Multivibrator (Flip-Flop)

Bei dieser Schaltung wird der Flip-Flop dadurch umgeworfen, daß der Kollektor des gerade gesperrten Transistors positiv gemacht wird. Dadurch wird auch die Basis des anderen Transistors positiv, wodurch die Schaltung in den anderen Zustand kippt.

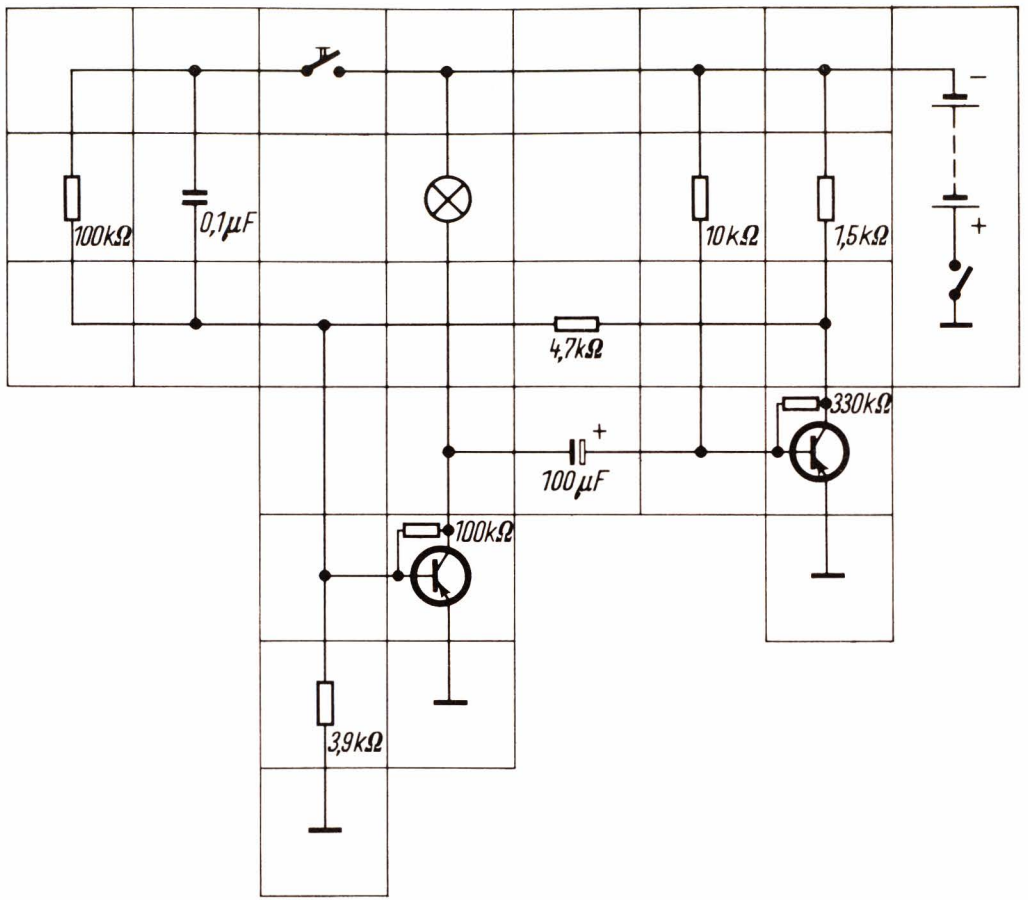


Der monostabile Multivibrator

Einen monostabilen Multivibrator erhält man schließlich, wenn man die Versuchsschaltung 70 aufbaut. Dabei handelt es sich um eine Kippschaltung, die nur einen (mono = eins) Betriebszustand hat. Durch einen Impuls am Eingang wird sie aus diesem stabilen Zustand herausgelöst und kippt nach Ablauf einer bestimmten Zeit, die durch Widerstände und Kondensatoren gegeben ist, in den Ruhezustand zurück.

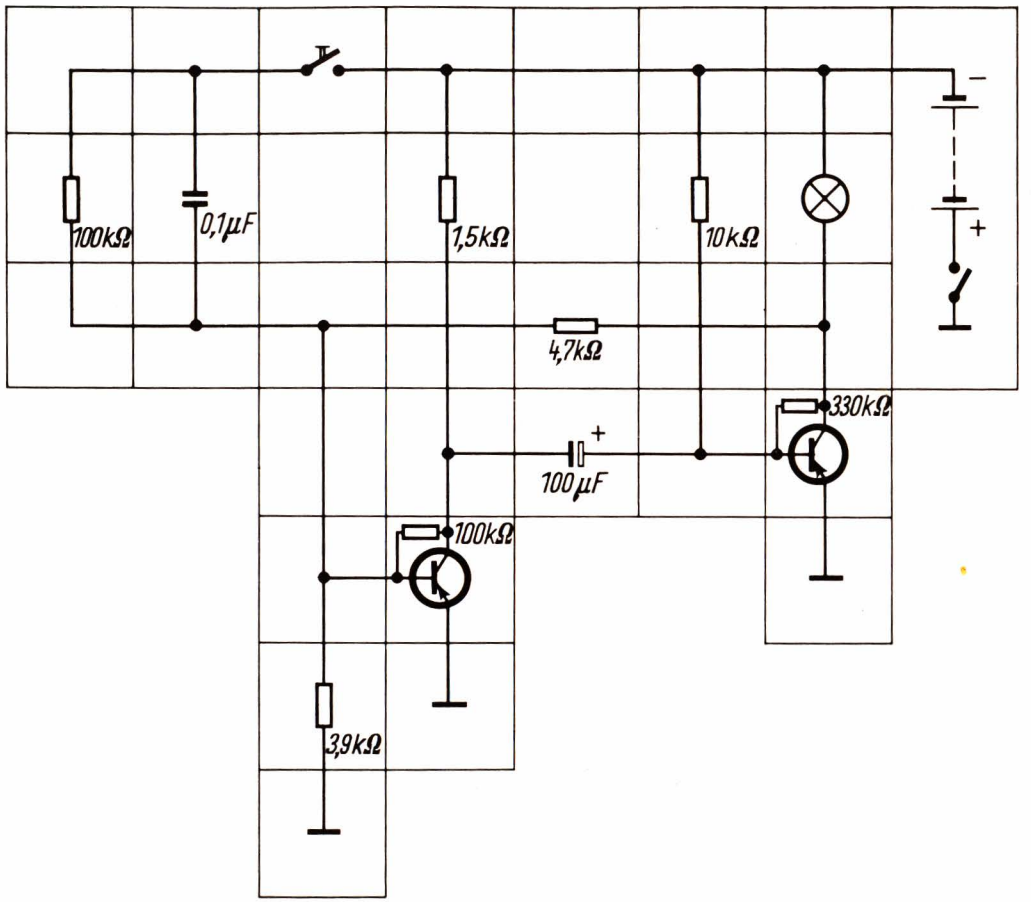
Das Schaltbild zeigt als Arbeitswiderstand für den linken Transistor die Glühlampe. Im Kollektorkreis des rechten Transistors sind 1,5 kΩ als Arbeitswiderstand vorgesehen. Der Kollektor des linken Transistors ist mit der Basis des rechten über einen Elko von 100 μF verbunden. Dieser bestimmt zusammen mit dem 100 kΩ Widerstand die Kippzeit. Über einen Spannungsteiler aus 4,7 und 3,9 kΩ findet ferner die erforderliche Rückkopplung vom rechten auf den linken Transistor statt. Der Auslöseimpuls wird schließlich über den Tastenschalter und eine Parallelschaltung aus einem 100 kΩ Widerstand und einem 0,1 μF Kondensator zugeführt. Bei fertig aufgebauter Schaltung und eingeschalteter Batterie brennt die Glühlampe zunächst nicht. Die Basis des zweiten Transistors erhält über den 10 kΩ Widerstand eine genügend hohe negative Spannung, so daß dieser Transistor leitend wird. Durch die Rückkopplung über die Widerstände 4,7 und 3,9 kΩ wird der erste Transistor gesperrt, da am Kollektor des zweiten Transistors und damit erst recht an der Basis des ersten Transistors keine negative Spannung anliegt. Drückt man die Taste, dann gelangt durch den Aufladevorgang des 0,1 μF Kondensators ein negativer Spannungsimpuls zur Basis des ersten Transistors, so daß dieser leitend wird und die Lampe aufleuchtet. Gleichzeitig wird dieser Spannungsimpuls nach entsprechender Verstärkung über den Elko zur Basis des zweiten Transistors geführt, und zwar — wie aus vorherigen Versuchen bekannt — mit umgekehrter Polarität. Damit wird der Transistor gesperrt. Über den 10 kΩ Widerstand lädt sich der Elko nun wieder so weit auf, bis an der Basis erneut eine genügend große negative Spannung auftritt. Dann wird der rechte Transistor wieder leitend und der linke entsprechend gesperrt. Die Schaltung kippt in den Ausgangszustand zurück und die Lampe verlischt. Mit den angegebenen Bausteinen wird die Lampe etwa 2 Sekunden lang leuchten. Dabei ist es völlig gleichgültig, wie lange man die Taste drückt. Ein kurzes Antippen oder auch ein dauerndes Niederdrücken lassen die Lampe immer nur während der gleichen, durch die Kombination 100 μF — 10 kΩ gegebenen Zeit aufleuchten. Um die Lampe nach dem Verlöschen erneut zu zünden, muß man den Tastenschalter auf jeden Fall zwischendurch loslassen und dann wieder niederdrücken.

Eine Verkürzung der Kippzeit erreicht man, wenn man den 100 μF Elko gegen einen solchen mit 10 μF austauscht. Die Lampe leuchtet dann jeweils nur noch ganz kurz auf.

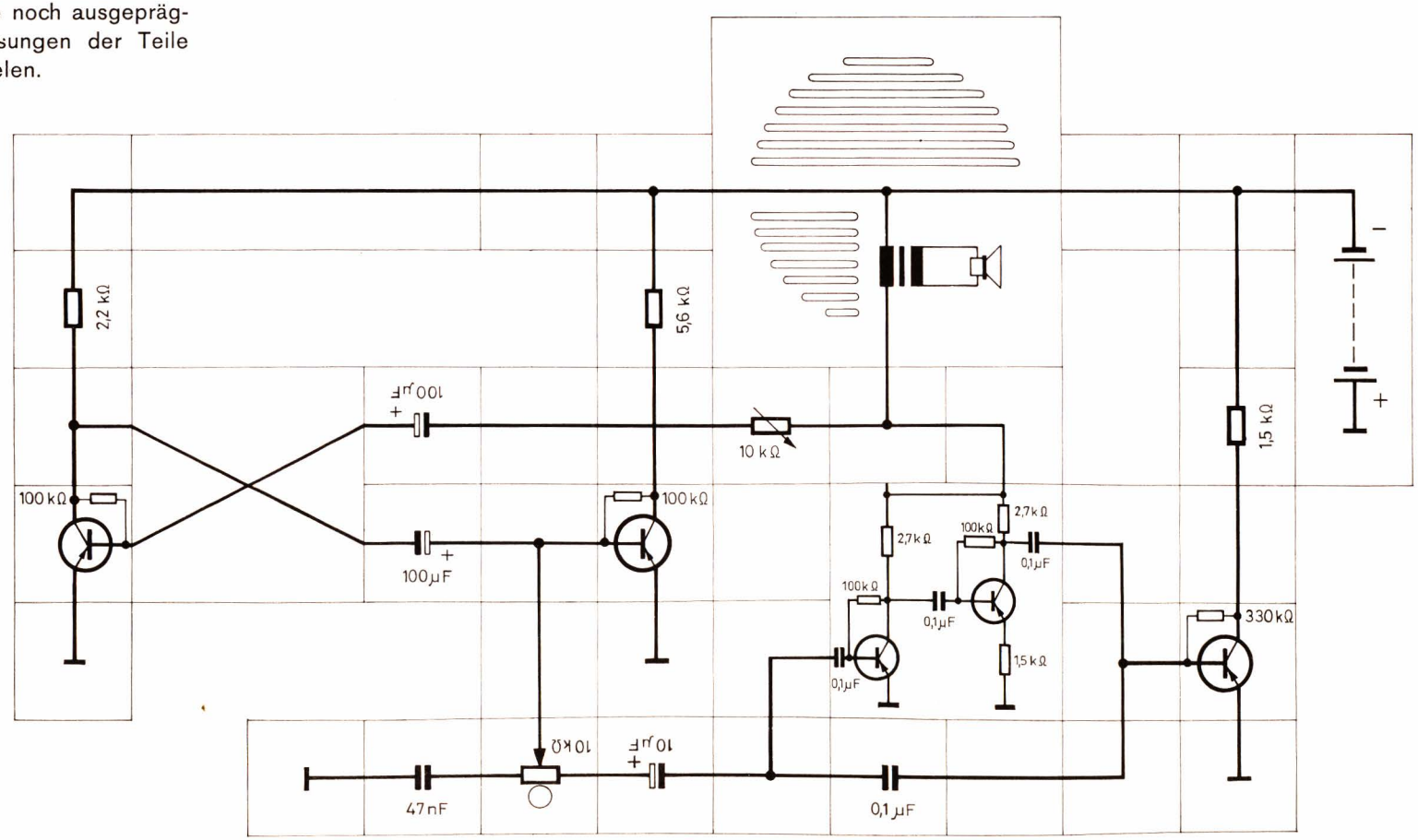

100kΩ
0,1µF
10kΩ
1,5kΩ
4,7kΩ
330kΩ
100µF
100kΩ
3,9kΩ

Der monostabile Multivibrator mit umgekehrter Arbeitsweise

Um noch einmal deutlich zu zeigen, daß sich die beiden Transistoren in einer Multivibratorschaltung umgekehrt zueinander verhalten, kann man die beiden Kollektorwiderstände — also die Glühlampe und den 1,5 kΩ Widerstand — vertauschen. Die Glühlampe befindet sich dann im Kollektorkreis des rechten Transistors, der 1,5 kΩ Widerstand dient als Arbeitswiderstand des linken Transistors. Schaltet man die Batterie ein, dann brennt die Glühlampe. Durch Tastendruck kann man sie nunmehr für eine bestimmte Zeit zum Verlöschen bringen; nach Ablauf der Kippzeit leuchtet sie wieder auf. In der Schaltung 71 verhält sich die Lampe somit genau umgekehrt wie beim Versuch 70. Damit ist erwiesen, daß sich die beiden Transistoren entgegengesetzt verhalten.
Monostabile Multivibratoren finden in der Praxis vielfach Verwendung als Zeitgeber und in Verzögerungsschaltungen.



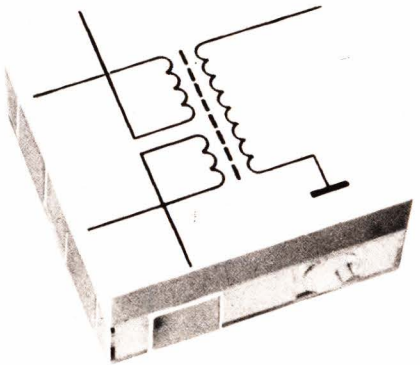
Die Schaltung enthält zwei astabile Multivibratoren. Einer davon besteht aus dem Verstärkerbaustein, bei dem Eingang und Ausgang verbunden sind. Durch die verschieden große Impulsdauer beider Schwinger und durch die Kopplung ineinander über den 10-µF-Kondensator entsteht eine komplizierte Schwingung. Sie weist veränderliche Tonhöhen und Toncharaktere auf, die durch die Regelwiderstände einstellbar sind. Der 300-kOhm-Transistor wirkt als veränderlicher Widerstand, wodurch sich die Töne noch ausgeprägter ändern. Durch andere Bemessungen der Teile lassen sich weitere Variationen erzielen.



Die Hochspannungserzeugung mit einem Transistor

In einer ganzen Reihe von Versuchen wurde schon gezeigt, daß man mit einer Transistorschaltung eine Wechselspannung erzeugen kann. Außerdem wurde bei der Beschreibung des Transformators darauf hingewiesen, daß man durch geeignete Wahl der Windungszahlen eine hohe Spannung in eine geringere und umgekehrt verwandeln kann. In den folgenden Versuchen soll von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht werden. Dazu enthält der Aufbaukasten 2 einen Transformator-Baustein, der auf Grund seiner Funktion als Hochspannungstransformator bezeichnet werden soll.

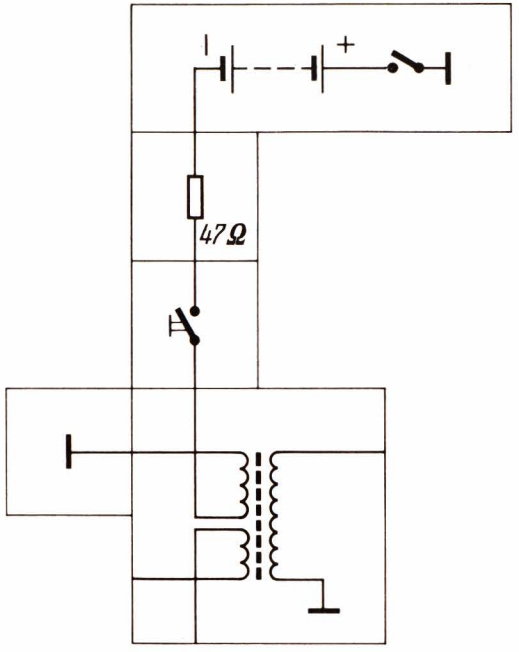
Der Hochspannungs-Transformator



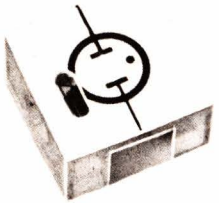
Der neue Baustein mit vierfacher Grundgröße enthält einen Transformator mit Eisenkern und drei Wicklungen. Über die eine Wicklung wird der Kollektorstrom des Transitors geführt. Eine zweite Wicklung dient zur „Rückkopplung", damit die Schaltung schwingt und eine Wechselspannung erzeugen kann. In der dritten Wicklung, die erheblich mehr Windungen als die beiden anderen hat, entsteht die Hochspannung. Der eine Anschluß der Hochspannungswicklung ist direkt an Masse geführt. Die übrigen Anschlüsse liegen getrennt an seitlichen Kontaktplättchen.

Grundversuch zur Hochspannungserzeugung

Es wurde schon erwähnt, daß über einen Transformator nur Wechselspannungen übertragen werden können. Eine dauernd anliegende Gleichspannung läßt sich mit einem Transformator nicht umformen. Im Augenblick des Ein- und Ausschaltens einer Gleichspannung, die einen Stromkreis mit Transformator betreibt, entsteht jedoch ein kurzer Impuls, der ebenfalls vom Transformator übertragen wird. Dieser Ein- bzw. Ausschaltimpuls wird durch den Transformator in genau der gleichen Weise in höhere oder niedrigere Spannungswerte umgeformt, wie das bei Wechselspannung der Fall ist. Im Versuch 72 ist die Primärwicklung — über einen 47 Ω Widerstand und eine Arbeitstaste — an die Batterie angeschlossen. Man schaltet die Batterie zunächst ein und berührt mit den Fingern einer Hand gleichzeitig den freien Anschluß der Hochspannungswicklung (Sekundärwicklung) und die Grundplatte. Mit der anderen Hand kann man jetzt die Taste drücken. Dabei verspürt man ein kräftiges Prickeln, das jedoch infolge der geringen zur Verfügung stehenden Leistung völlig ungefährlich ist. Auch beim Loslassen der Taste ist der entstehende Hochspannungsimpuls wieder wahrzunehmen. Der 47 Ω Widerstand dient zur Begrenzung, damit der Schlag nicht zu heftig und außerdem die Batterie geschont wird.


47Ω
+

Die Glimmlampe



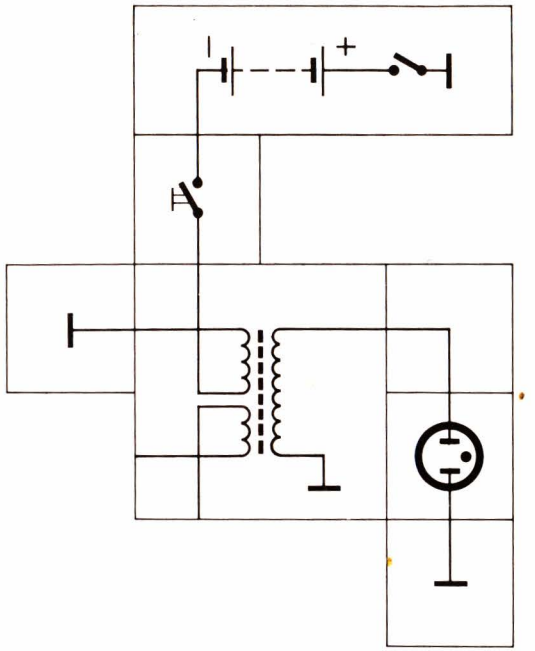
Mit der jetzt vorhandenen hohen Spannung läßt sich ein weiteres neues Bauelement betreiben: die Glimmlampe. Im Gegensatz zu der schon bekannten Glühlampe enthält dieses Bauteil keinen Glühfaden, der durch den Stromfluß zum Aufleuchten gebracht wird. Die Glimmlampe besitzt vielmehr zwei in einem bestimmten Abstand angeordnete Elektroden, die keine Verbindung miteinander haben. Der Glaskolben der Glimmlampe ist mit einem Gasgemisch gefüllt. Legt man die Elektroden der Glimmlampe an eine genügend hohe Spannung (im allgemeinen mindestens 70 V), dann wird das Gas zum Glimmen angeregt. Auch dabei fließt ein Strom. Die Versuche mit der Glimmlampe an Gleichspannung werden zeigen, daß dabei immer nur eine Elektrode mit dem Glimmlicht bedeckt ist. Betreibt man die Glimmlampe mit Wechselspannung, dann glimmen beide Elektroden.

Wichtig ist beim Betrieb einer Glimmlampe die Anordnung eines genügend großen Vorwiderstandes im Stromkreis. Schließt man die Glimmlampe direkt an eine Spannung an, so wird der entstehende Stromfluß sehr groß, da die Glimmlampe selbst keine strombegrenzende Wirkung hat. Die Entladung wird dann zu einem regelrechten Lichtbogen, wodurch die Glimmlampe sofort zerstört wird. Ein Vorwiderstand dagegen begrenzt den möglichen Strom auf den zulässigen Wert. Glimmlampen werden z. B. als Anzeigelampen in Schalttafeln und Geräten verwendet. Dabei ist häufig der erforderliche Vorwiderstand gleich in den Sockel der Lampe eingebaut, so daß dann auf die Anordnung eines zusätzlichen Widerstandes verzichtet werden kann. Die im Experimentierkasten vorhandene Glimmlampe — in einem Baustein mit der Grundgröße eingebaut — besitzt jedoch keinen Vorwiderstand. Er muß in der Schaltung vorgesehen werden.

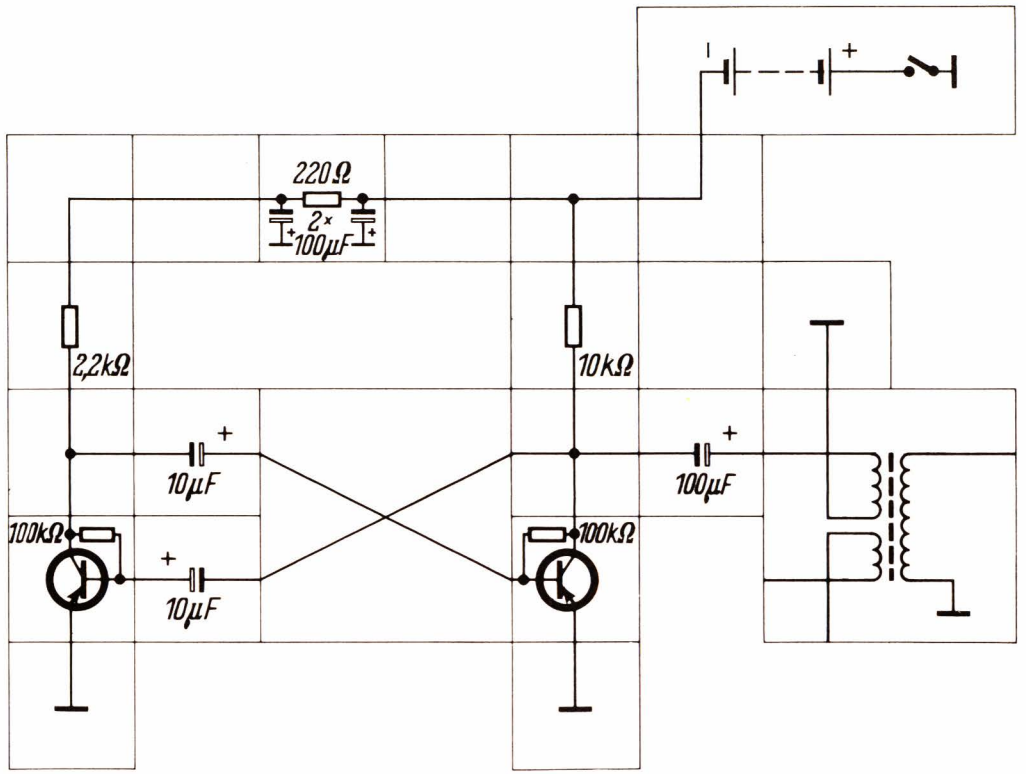
Anzeige von Hochspannungsimpulsen mit der Glimmlampe

Experiment 73

Gegenüber der Schaltung 72 ist bei diesem Versuch nur noch der Glimmlampenbaustein an die Hochspannungswicklung des Transformators angeschlossen. Die andere Elektrode der Glimmlampe ist mit Masse verbunden. Beim Drücken der Taste blitzt die Glimmlampe kurz auf, beim Loslassen ebenfalls. Da die Zündspannung der Glimmlampe — wie in der obigen Beschreibung dieses Bauelements erwähnt — über 70 V liegt, muß also die erzeugte Hochspannung mindestens diesen Betrag erreichen. Man kann auch erkennen, daß beim Drücken der Taste die eine Elektrode der Glimmlampe aufleuchtet, beim Loslassen aber die andere. Ein- und Ausschalten der Primärwicklung des Transformators haben also entgegengesetzte Polaritäten an der Sekundärwicklung zur Folge. Auf einen Vorwiderstand zwischen der Spannungsquelle (Hochspannungswicklung) und Glimmlampe kann in diesem Falle ausnahmsweise verzichtet werden, da der erzeugte Spannungsimpuls nur sehr kurzzeitig ist.



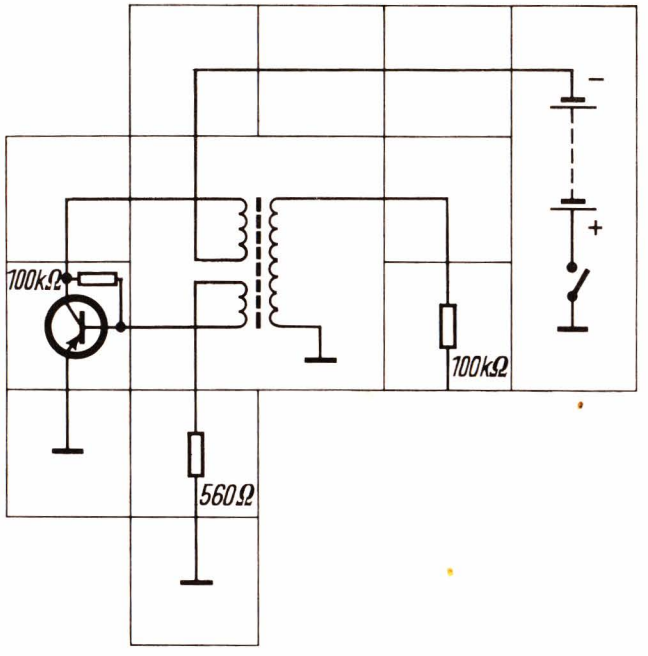
An Stelle der früher üblichen Stacheldrahtzäune werden in der Landwirtschaft immer mehr sogenannte elektrische Weidezäune verwendet. Man vermeidet dadurch, daß sich die Tiere beim Berühren eines Stacheldrahtzaunes verletzen. Der elektrische Weidezaun besteht aus einem blanken, isoliert angebrachten Draht. Ihm werden in regelmäßigen Abständen kurzzeitige Hochspannungsimpulse zugeführt, wobei als Gegenelektrode das Erdreich dient. Eine mögliche Schaltung zur Erzeugung der Hochspannungsimpulse zeigt der Versuch 74. Man erkennt hier wieder die Grundschaltung des schon im Versuch 66 aufgebauten astabilen Multivibrators. Die Widerstandswerte wurden etwas geändert, außerdem ist zwischen die beiden Transistorstufen das Entkopplungsglied eingefügt. Über einen Kopplungskondensator von 100 µF ist die Primärwicklung des Hochspannungstransformators mit dem Multivibrator verbunden. Bei jedem Umschaltvorgang des Multivibrators erhält der Transformator einen Ein- bzw. Ausschaltimpuls, der sich auf der Sekundärwicklung als Hochspannungsimpuls auswirkt. Man kann das Arbeiten der Schaltung wieder feststellen, indem man den freien Anschluß der Hochspannungswicklung und die Grundplatte mit den Fingern berührt. Dabei spürt man im Takte der Multivibratorfrequenz deutliche elektrische Schläge. Durch Anschluß der Glimmlampe an das freie Kontaktplättchen der Hochspannungswicklung lassen sich die Hochspannungsimpulse sichtbar machen.



Der Versuch 75 bildet die Grundschaltung eines Transistor-Spannungswandlers. Im Kollektorkreis des Transistors liegt die „Primärspule" des Hochspannungs-Transformators. Jeder noch so geringe Stromstoß im Kollektorkreis (beispielsweise durch das Einschalten der Batterie) wird infolge der Transformatoreigenschaften auch auf die „Rückkopplungsspule" im Basiskreis des Transistors übertragen. An der Basis tritt ebenfalls eine Spannungsänderung auf, die im Transistor verstärkt wird und wieder eine entsprechende Stromänderung im Kollektorkreis zur Folge hat. Auf diese Weise schaukelt sich die Schaltung in ähnlicher Form auf, wie das bereits beim Versuch 42 der Fall war. Die Anordnung beginnt zu schwingen. Dabei ist die Frequenz der erzeugten Wechselspannung von den Abmessungen und den Wickeldaten des Hochspannungstransformators abhängig. Das einwandfreie Arbeiten der Versuchsschaltung erkennt man daran, daß bei eingeschalteter Batterie ein hoher Pfeifton auftritt.

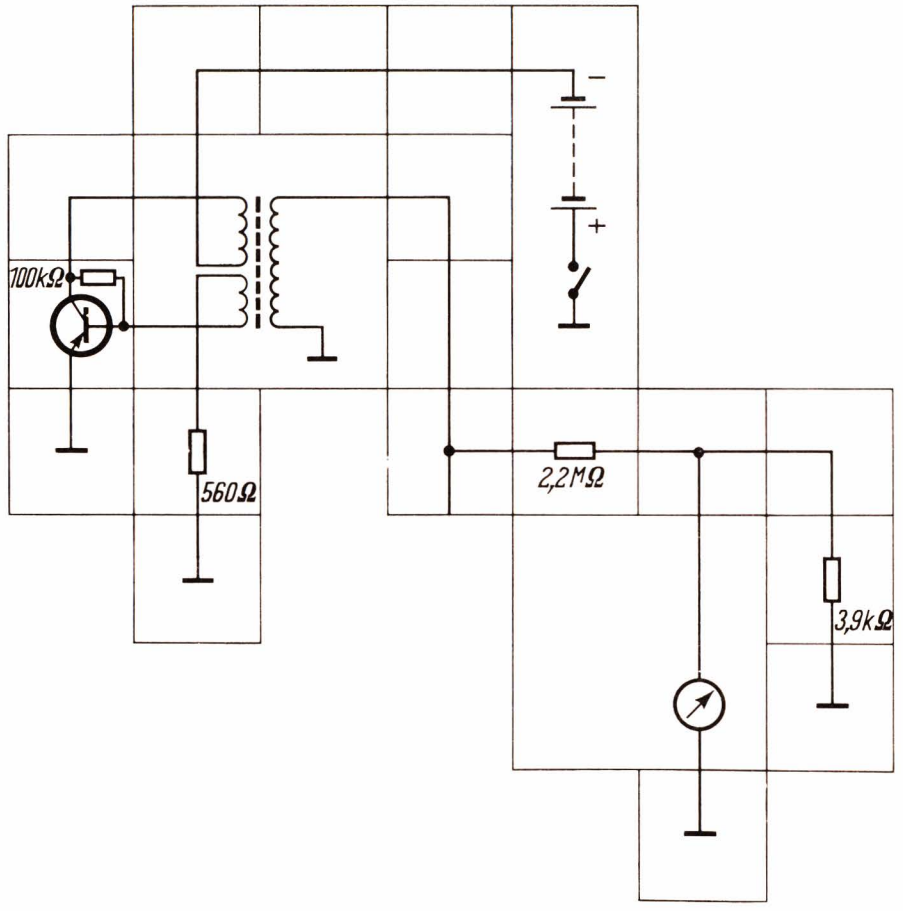
In der dritten Wicklung des Transformators entsteht die hohe Wechselspannung von etwa 250 V. Sie ist auch hier wieder völlig ungefährlich, da die zur Verfügung stehende Leistung nur sehr gering ist. Damit der vorliegende Versuchsaufbau in dieser Form für die nachfolgenden Versuche erhalten bleiben kann, wurde der Anschluß der Hochspannungswicklung an einen Abzweigungsbaustein geführt, bei dem vorläufig noch zwei Anschlüsse freibleiben.

Berührt man bei eingeschalteter Batterie mit den Fingern gleichzeitig eines der freien Kontaktplättchen beim Abzweigungsbaustein und die Grundplatte, dann verspürt man wieder das bekannte Prickeln, ein Zeichen für hohe Spannung. Das Prickeln ist im Gegensatz zu den vorhergehenden Schaltungen aber ständig zu spüren, da es sich jetzt um eine gleichmäßig erzeugte Wechselspannung und nicht mehr um Ein- oder Ausschaltimpulse handelt. In ähnlicher Form sind auch handelsübliche Elektrisierapparate aufgebaut, wie sie in der Medizin für die verschiedensten Heilzwecke mit Erfolg verwendet werden.

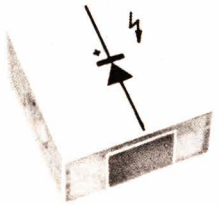


Anschluß des Meßinstrumentes an den Spannungswandler

Es soll jetzt versucht werden, die erzeugte Wechselspannung mit dem Anzeigeinstrument zu erfassen. Hierzu wird das Instrument, da es sich um eine Hochspannung handelt, über einen sehr hochohmigen Widerstand von 2,2 MΩ an die Sekundärwicklung des Transformators angeschlossen. Es wird jedoch bei schwingendem Spannungswandler keinen Ausschlag zeigen. Bereits frühere Versuche haben nachgewiesen, daß eine Wechselspannungsanzeige mit dem Drehspulinstrument nicht möglich ist. Es ist daher eine Gleichrichtung erforderlich.



Die Hochspannungs-Diode

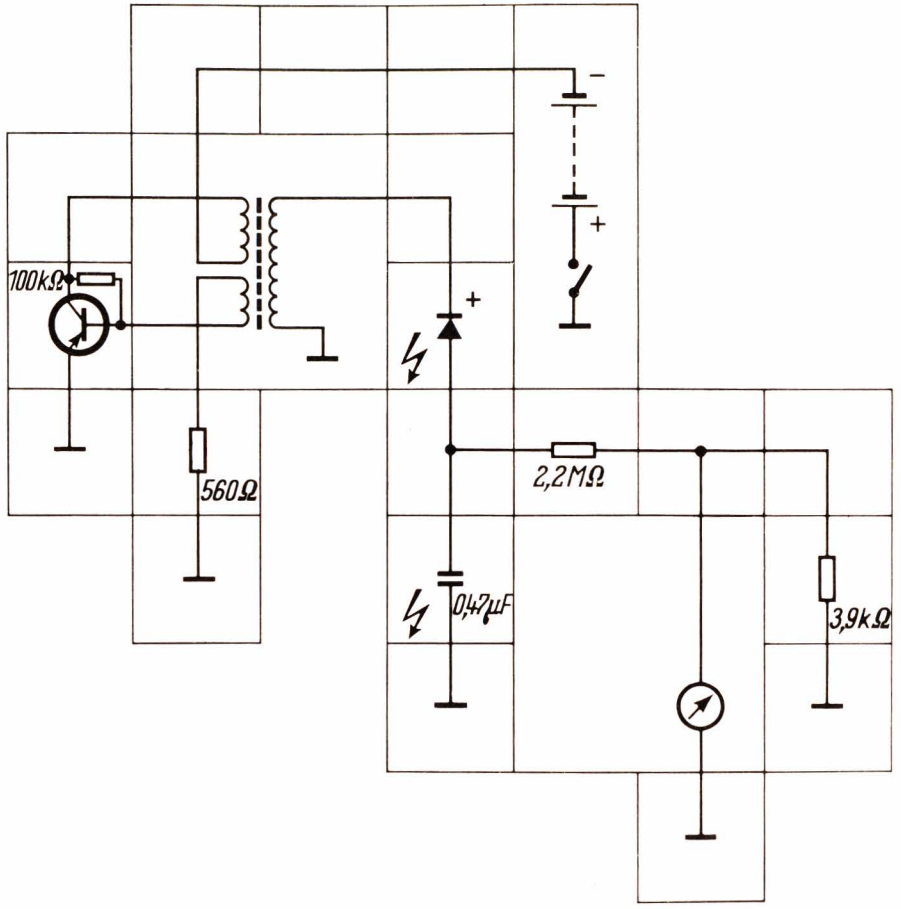


Die Gleichrichtung der mit dem Spannungswandler erzeugten Hochspannung ist mit der schon früher verwendeten Germaniumdiode nicht möglich. Sie würde bei der hohen Spannung durchschlagen und wäre dann unbrauchbar. Bei den folgenden Versuchen wird daher ein neues Bauteil verwendet: die Diode mit Hochspannungspfeil, die als Ausgangsmaterial Silizium enthält. Mit dieser Diode lassen sich Wechselspannungen bis zu 400 V gleichrichten. Die beiden Dioden dürfen in den Versuchen auf keinen Fall verwechselt werden.

Messung einer gleichgerichteten Hochspannung

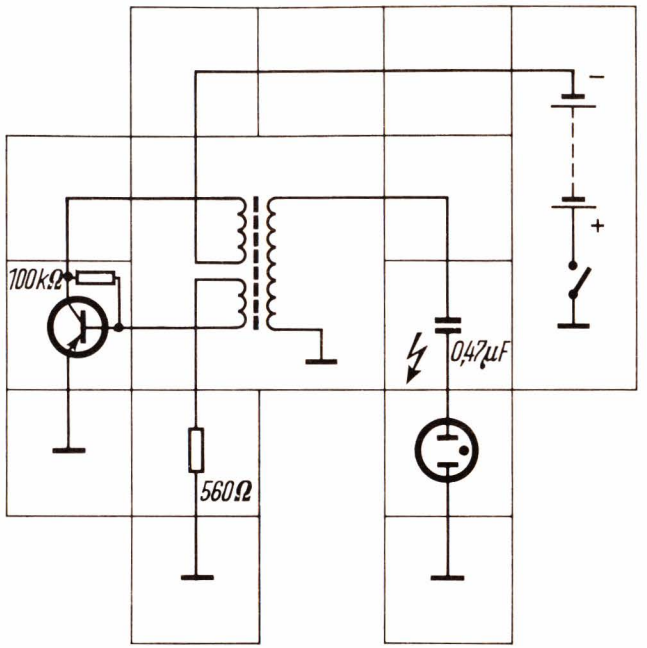
In dieser Schaltung ist in Reihe mit der Hochspannungswicklung die Diode mit Hochspannungspfeil angeordnet. Außerdem ist im Stromkreis ein Kondensator von 0,47 µF vorgesehen. Die durch die Diode gleichgerichtete Wechselspannung ist keine vollkommen gleichmäßige Spannung, wie sie beispielsweise von der Batterie geliefert wird, sondern sie setzt sich aus den von der Diode durchgelassenen Halbwellen mit gleicher Polarität zusammen. Der Kondensator gleicht nun die Unterschiede weitgehend aus, er „glättet" die hin- und herschwankende Gleichspannung. Man darf an Stelle des 0,47 µF Kondensators keinen anderen im Experimentierkasten enthaltenen Kondensator benutzen, da die übrigen Kondensatoren nicht für die auftretende hohe Spannung geeignet sind und durchschlagen würden. Der 0,47 µF Kondensator ist ebenfalls durch einen Hochspannungspfeil gekennzeichnet.

Mit der Versuchsschaltung 77 erreicht man nun eine Anzeige der erzeugten Hochspannung durch das Instrument.


100kΩ
560Ω
2,2MΩ
0,47µF
3,9kΩ
+
+
−

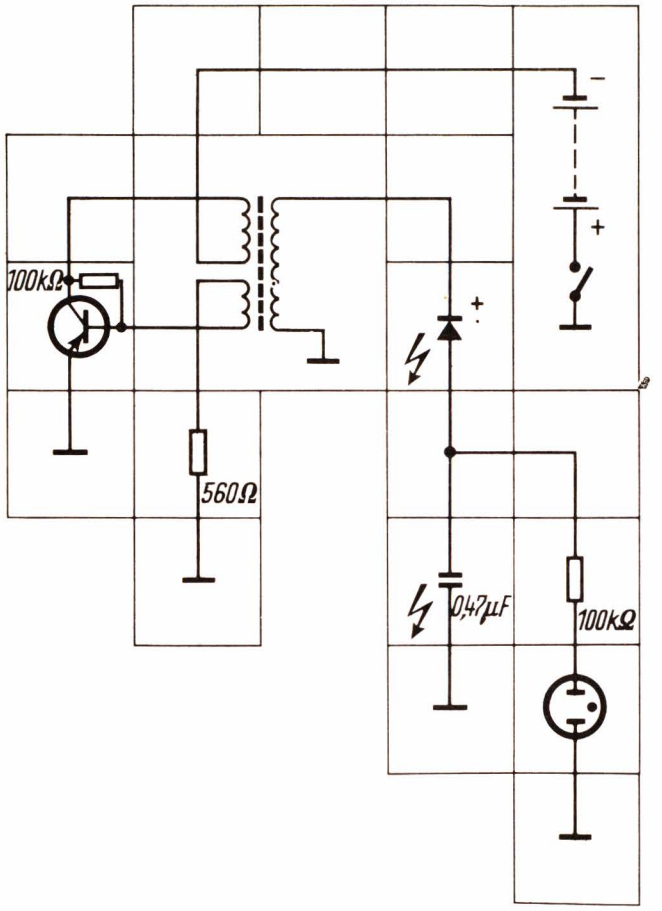
Betrieb einer Glimmlampe mit hoher Wechselspannung

An der Schaltung des Spannungswandlers hat sich gegenüber den beiden vorigen Versuchen nichts geändert. An Stelle des Meßinstrumentes tritt hier die Glimmlampe, die über den Kondensator von 0,47 µF betrieben wird. Da in diesem Falle eine Wechselspannung anliegt, werden bei der Glimmlampe beide Elektroden leuchten.



Betrieb einer Glimmlampe mit gleichgerichteter Hochspannung

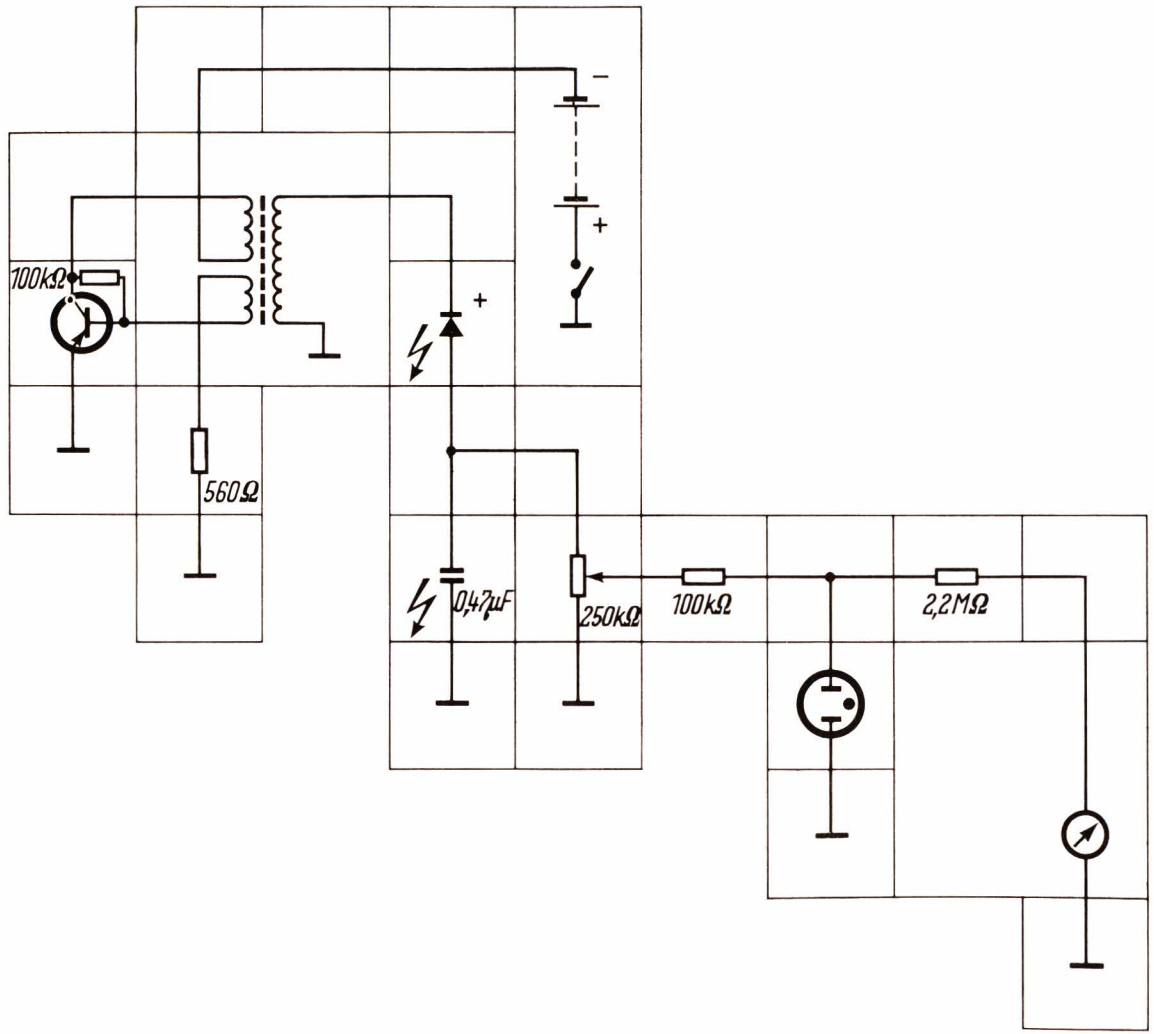
Zusätzlich zu den Bauteilen des Versuches 78 sind hier die Hochspannungsdiode und der Vorwiderstand von 100 kΩ für die Glimmlampe vorgesehen. Damit wird der Glimmlampe jetzt eine Gleichspannung zugeführt, es wird also nur eine Elektrode aufleuchten. Dreht man den Glimmlampenbaustein um — d. h. vertauscht man die Polarität der Glimmlampe —, dann leuchtet die andere Elektrode auf.



Die Glimmlampe als Spannungskonstanthalter

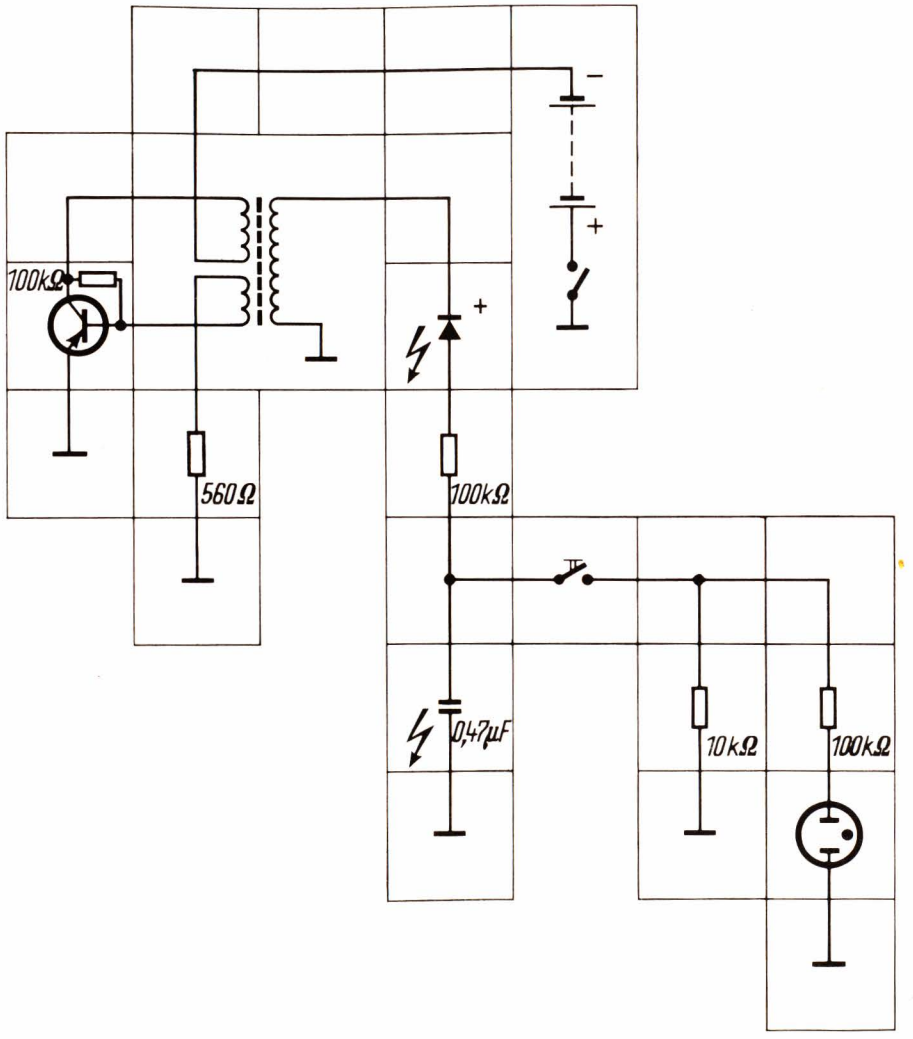
Eine Glimmlampe besitzt noch einige besondere Eigenschaften, die in der Schaltung 80 nachgewiesen werden sollen. Auch hier ist als Spannungsquelle der Transistor-Spannungswandler vorgesehen. Parallel zum 0,47 µF Kondensator liegt das im Aufbaukasten 2 enthaltene Potentiometer von 250 kΩ. Es bildet einen stetig regelbaren Spannungsteiler, an dem die am Kondensator auftretende Gleichspannung abgegriffen werden kann. Vom Schleifer des Potentiometers gelangt die Spannung über einen Vorwiderstand von 100 kΩ zur Glimmlampe. Zu dieser ist über den Vorwiderstand von 2,2 MΩ das Anzeigeinstrument parallel geschaltet. Man mißt also jeweils die an den Elektroden der Glimmlampe anliegende Gleichspannung. Der Versuch beginnt mit ganz nach links gedrehtem Schleifer des Potentiometers. Das Instrument zeigt dann noch keinen Spannungswert an, und die Glimmlampe leuchtet nicht. Nun wird der Potentiometerknopf langsam zum anderen Ende hin bewegt. Dabei steigt die Spannung an der Glimmlampe laufend an, was am Anzeigeinstrument verfolgt werden kann. Man kann die Spannung bis zu einem gewissen Wert heraufregeln, ohne daß die Glimmlampe brennt. Dreht man den Potentiometerknopf weiter, dann wird die Glimmlampe bei einem ganz bestimmten Spannungswert schlagartig aufleuchten. Im gleichen Augenblick geht der angezeigte Spannungswert zurück. Man kann nun den Potentiometerknopf beliebig weiterdrehen, ohne daß sich die Anzeige am Instrument ändert. Nur die Helligkeit der Glimmlampe wird bei steigender Spannung größer.

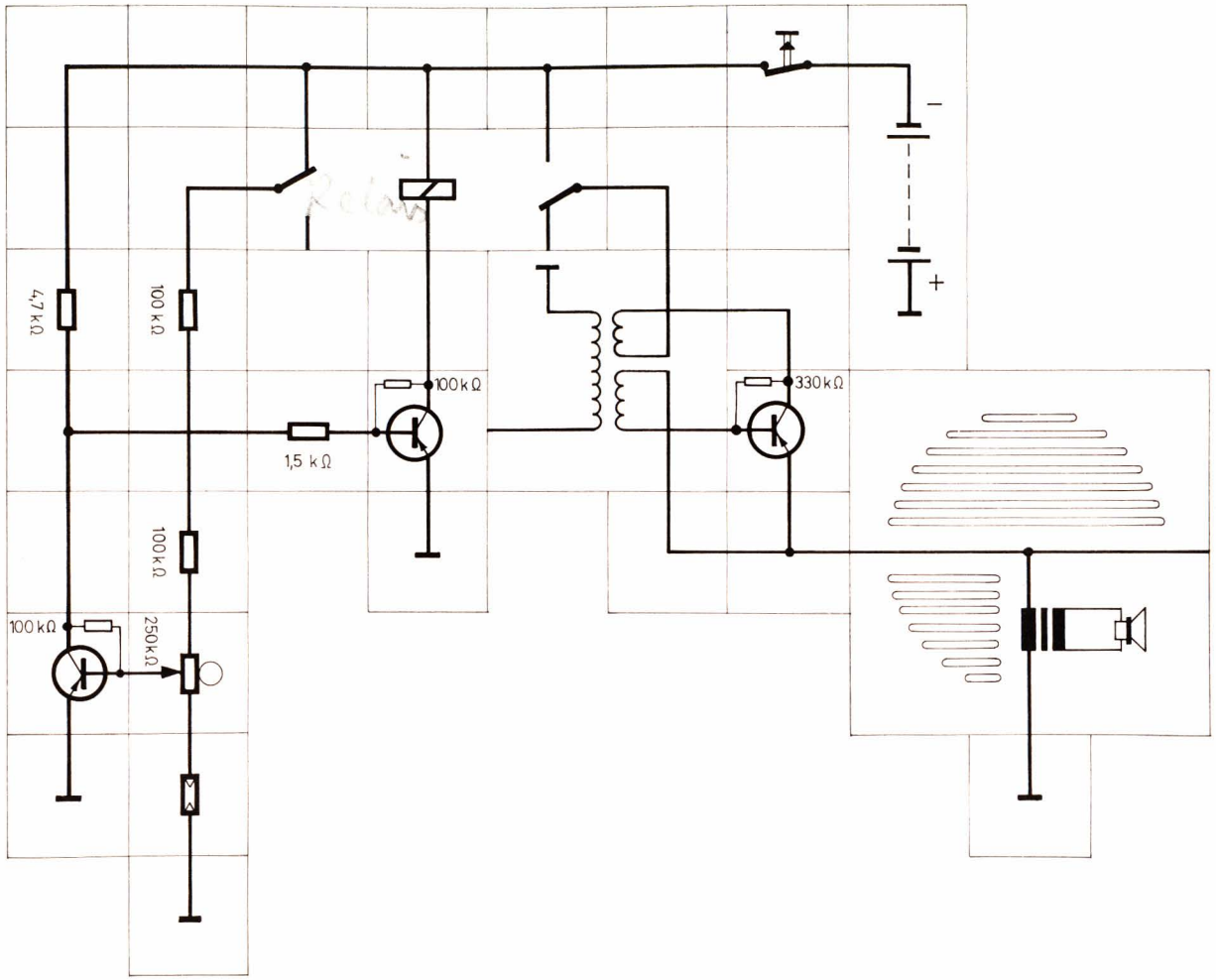
Die Spannung, bei der die Glimmlampe schlagartig aufleuchtet („zündet"), wird als „Zündspannung" bezeichnet. Sie ist vom Aufbau der Lampe und von der Gasfüllung abhängig. Es gibt Glimmlampen, die erst bei wesentlich höheren Spannungen zünden. Sobald die Zündung erfolgt ist, bricht die Spannung an den beiden Elektroden auf einen niedrigeren Wert zusammen, den man „Brennspannung" nennt. Die Brennspannung, die — wie die Zündspannung — von der Konstruktion der Lampe abhängig ist, bleibt nahezu konstant, ganz gleichgültig, welche Spannung am Potentiometer abgegriffen wird. Der Spannungsunterschied zwischen dem Schleifer des Potentiometers (Eingangsspannung) und der Glimmlampe wird vom Vorwiderstand 100 kΩ aufgenommen. Nur der über den Vorwiderstand und die Glimmlampe fließende Strom ändert sich bei Regelung der Eingangsspannung. Die Glimmlampe hat also eine spannungsstabilisierende Wirkung. Diese Eigenschaft wird häufig in der Elektronik ausgenutzt, wenn zum Beispiel zum Betrieb einer Schaltung eine konstante Spannung benötigt wird.


100kΩ
560Ω
0,47µF
250kΩ
100kΩ
2,2MΩ
+
+
−

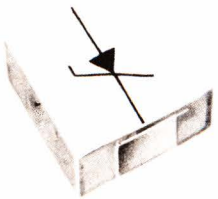
Grundschaltung eines Elektronenblitzgerätes

Als letzter Versuch mit dem Spannungswandler soll eine Schaltung aufgebaut werden, die in ihren Grundzügen dem bekannten Elektronenblitzgerät entspricht. Der Kondensator von 0,47 µF stellt den „Blitzkondensator" dar, der in der Praxis aber eine erheblich größere Kapazität aufweist (einige hundert µF). Über die Blitzröhre — das ist auch eine gasgefüllte Röhre wie die Glimmlampe — wird im Elektronenblitzgerät die durch den Aufladevorgang im Blitzkondensator langsam gespeicherte Energie schlagartig entnommen, wodurch kurzzeitig ein sehr heller Lichtblitz entsteht. Dabei fließen sehr hohe Ströme (einige hundert Ampère). Die Blitzröhre wird im Versuch 81 durch die Glimmlampe mit Vorwiderstand ersetzt, der ein 10 kΩ Widerstand parallel geschaltet ist. Durch den Parallelwiderstand soll eine schnelle Entladung des Blitzkondensators erreicht werden. Glimmlampe und 10 kΩ Parallelwiderstand sind über den Tastenschalter mit dem 0,47 µF Kondensator verbunden. Schaltet man die Batterie ein, dann lädt sich der Kondensator über den Vorwiderstand von 100 kΩ auf. Nach erfolgter Aufladung — im vorliegenden Versuch genügen etwa zwei Sekunden — kann durch Drücken der Taste ein kurzer „Lichtblitz" in der Glimmlampe erzeugt werden, wobei sich der Kondensator schnell entlädt. Um einen neuen Lichtblitz entstehen zu lassen, muß man die Taste loslassen und warten, bis sich der Kondensator wieder aufgeladen hat.




330 kΩ
100 kΩ
1,5 kΩ
100 kΩ
100 kΩ
250 kΩ
100 kΩ
4,7 kΩ
Relais
+
−

Die Wirkungsweise der Zenerdiode



Im vorigen Versuch wurden die stabilisierenden Eigenschaften einer Glimmlampe untersucht. Für niedrigere Spannungen als 60 V sind solche Glimmlampen-Stabilisatoren jedoch nicht herstellbar. Will man geringere Spannungen stabilisieren, so muß man ein anderes Bauteil verwenden. Besonders geeignet dafür sind Zenerdioden, so benannt nach dem Entdecker des „Zener-Effektes". Sie gehören wie die Dioden und Transistoren in die Gemeinschaft der Halbleiter-Bauelemente. Als Ausgangsmaterial dient Silizium.

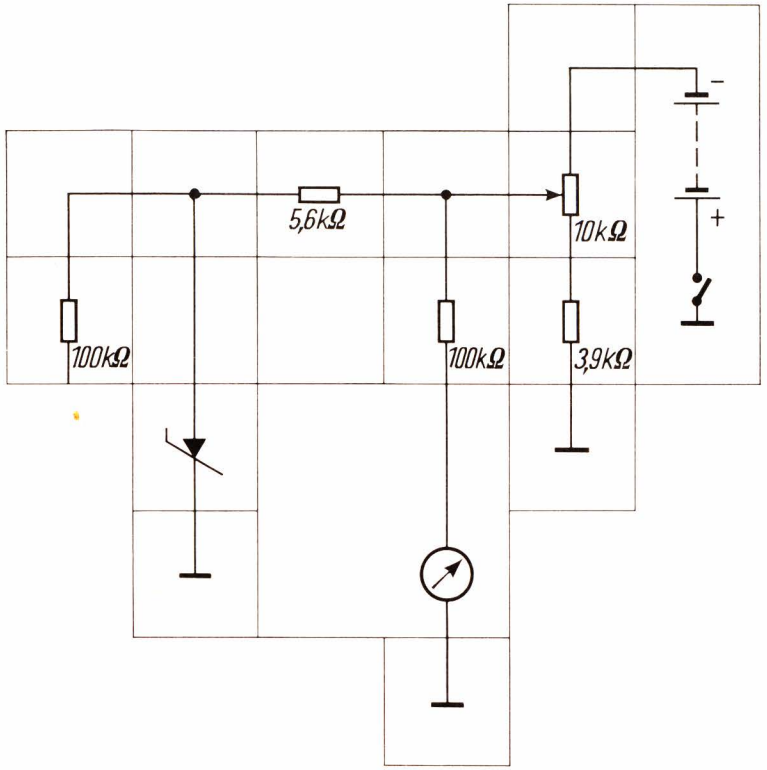
In der Durchlaßrichtung verhält sich die Zenerdiode genau wie die gewöhnliche Germanium- oder Silizium-Diode. Auch in der Sperrichtung hat die Zenerdiode bis zu einer bestimmten Spannung, eben der „Zener-Spannung", einen sehr großen Widerstand. Beim Erreichen der Zenerspannung wird das Bauelement jedoch wieder leitend. Genau wie bei der Glimmlampe bleibt dann die Spannung an der Zenerdiode konstant. Sie hat dann also praktisch die gleichen Eigenschaften wie die gezündete Glimmlampe. Im Gegensatz zur Glimmlampe gibt es allerdings bei der Zenerdiode keine „Zünd"- und „Brenn"-Spannung mit unterschiedlichen Werten.

Zenerdioden werden für stabile Spannungen von etwa 1 V ab hergestellt. Andere Typen besitzen Zenerspannungen, die bis in das Anwendungsgebiet der Glimmstabilisatoren gehen. Der Aufbaukasten 2 enthält eine Zenerdiode für eine Spannung von etwa 2,7 V. Mit dem neuen Baustein lassen sich wiederum eine Reihe interessanter Versuche durchführen.

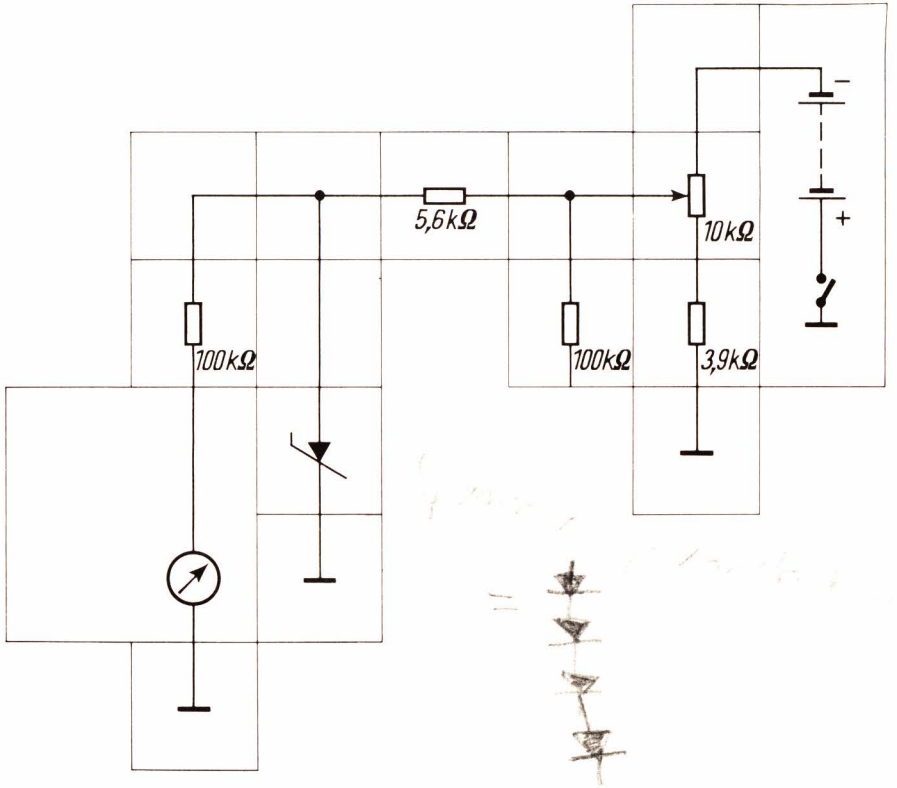
Parallel zur Batterie liegt ein Spannungsteiler, der aus dem Potentiometerbaustein und einem Festwiderstand von 3,9 kΩ besteht. Am Schleifer des Potentiometers läßt sich also eine regelbare Spannung abnehmen, die jedoch nicht bis auf Null einzustellen ist. Das wäre überflüssig, da der Zenerdiode zum einwandfreien Betrieb immer über den Vorwiderstand eine etwas höhere Spannung als die Zenerspannung zugeführt werden muß. Vom Schleifer des Potentiometers führt ein 5,6 kΩ Widerstand zur Zenerdiode. Sie ist in Sperrrichtung geschaltet. In Schaltung 82 b ist parallel zur Zenerdiode über einen Vorwiderstand von 100 kΩ das Anzeigeinstrument anzuschließen. Zwischen dem Schleifer des Potentiometers und dem Vorwiderstand ist ein Abzweigungsbaustein eingefügt, von dem aus nach Schaltung 82 a jeweils auch die der Stabilisierungsschaltung zugeführte Betriebsspannung gemessen werden kann.

Ordnet man das Anzeigeinstrument nach Schaltung 82 a an, dann kann man bei eingeschalteter Batterie mit dem Drehknopf des Potentiometers eine Spannung zwischen etwa 3 und 9 V einstellen. Legt man das Instrument aber parallel zur Zenerdiode nach Schaltung 82 b, dann bleibt der Ausschlag nahezu unabhängig von der Einstellung des Potentiometers etwa beim Skalenwert 2,5 entsprechend einer Spannung von etwa 2,5 V stehen. Unbeeinflußt vom Zustand der Batterie und deren Alterung steht also durch Verwendung einer Zenerdiode immer eine stabile Spannung zur Verfügung. Für sehr viele Schaltungen in der Praxis, so zum Beispiel für empfindliche Meßschaltungen, ist eine stabile Betriebsspannung sehr wichtig. Mit Zenerdioden ist dieses Ziel besonders einfach zu erreichen. Die stabilisierte Spannung ist auch weitgehend belastungsunabhängig. Man kann also ohne weiteres parallel zum Anzeigeinstrument einen Belastungswiderstand anordnen. Die Spannung wird sich dabei nicht verändern. Allerdings darf man die Belastung nicht so groß machen, daß die Zenerspannung schon durch das Verhältnis des Belastungswiderstandes zum Vorwiderstand unterschritten wird. Stabilisierungsschaltungen mit Zenerdioden sind daher nur in bestimmten Belastungsgrenzen verwendbar. Wird der Belastungswiderstand zu klein, so ist keine Stabilisierung mehr möglich. Man könnte natürlich auch den Vorwiderstand entsprechend kleiner wählen. Dann wird jedoch die Zenerdiode selbst zu stark belastet.

Experiment 82a



Experiment 82b

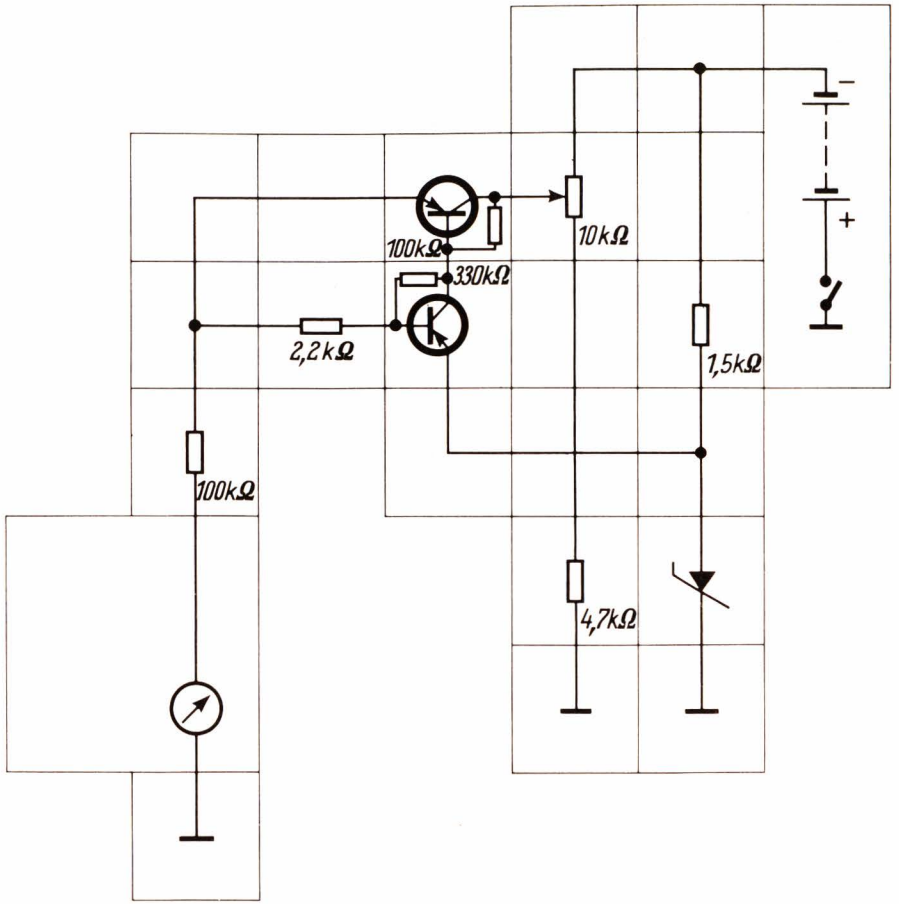


Spannungskonstanthalter mit Zenerdiode und Transistoren

Einen erheblich größeren Belastungsbereich erreicht man mit einer elektronischen Regelschaltung, bei der die Zenerspannung nur als sogenannte Bezugsspannung (Vergleichsspannung) benutzt wird. In Abhängigkeit von dieser Vergleichsspannung wird eine Transistorschaltung gesteuert, die ihrerseits für eine konstante Ausgangsspannung sorgt. Das Prinzip einer solchen Schaltung zeigt der nächste Versuch.

Parallel zur Batterie liegt über einen Vorwiderstand von 1,5 kΩ die Zenerdiode. Auf diese Weise gewinnt man die zunächst notwendige Vergleichsspannung von etwa 2,7 V. Außerdem ist parallel zur Batterie wieder der Spannungsteiler aus dem Potentiometerbaustein und ein Festwiderstand von 4,7 kΩ angeordnet. Eine Kontrolle der am Schleifer des Potentiometers abgenommenen Spannung wird bei diesem Versuch nicht noch einmal durchgeführt; die abgegriffene Spannung verhält sich wie beim Versuch 82. Die veränderliche Spannung gelangt über die Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors mit 100 kΩ Widerstand zum Meßkreis, der aus dem Anzeigeinstrument und einem Vorwiderstand von 100 kΩ besteht. Der Basisanschluß dieses Transistors ist mit dem Kollektor des Transistors mit 330 kΩ Widerstand verbunden. Die beiden Transistoren sind also gleichstrommäßig miteinander gekoppelt. Der Emitter des unteren Transistors liegt an der von der Zenerdiode gegebenen festen Bezugsspannung. Die Basis dieses Transistors schließlich ist über einen 2,2 kΩ Widerstand an den Ausgang der Schaltung geführt.

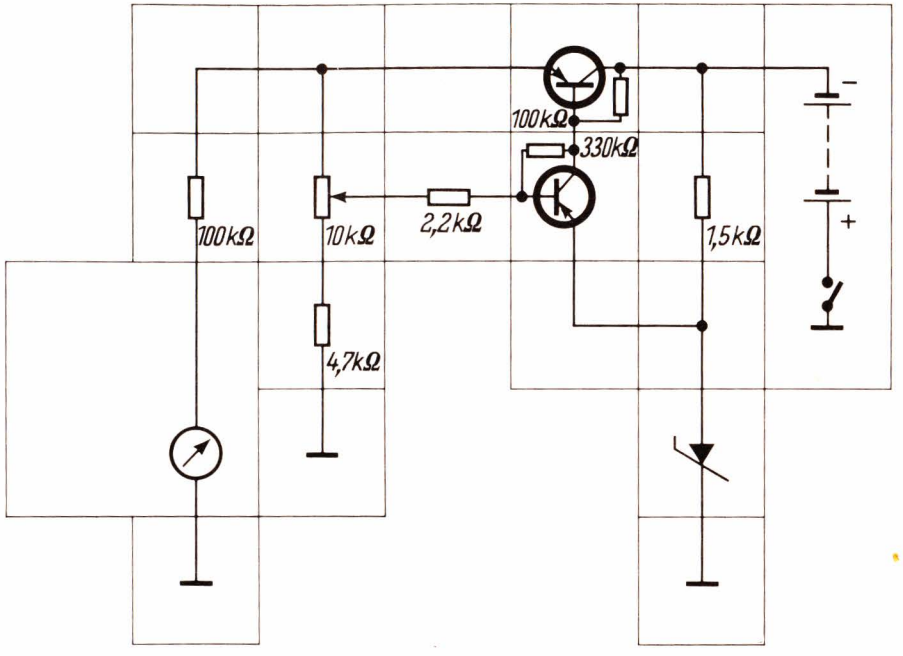
Bei eingeschalteter Batterie kann man nun den Potentiometerknopf wieder in jede beliebige Stellung bringen; die Anzeige des Instrumentes wird sich dabei nicht ändern. Jede geringfügige Änderung der Ausgangsspannung hat automatisch eine Änderung der Basisspannung am unteren Transistor zur Folge. Da dessen Emitterspannung aber durch die Zenerdiode festliegt, ergibt sich eine Spannungsverschiebung zwischen Basis und Emitter. Diese wird über den Transistor verstärkt und auf die Basis des oberen Transistors weitergegeben. Der letztere wird nun so weit angesteuert, bis am Ausgang der gesamten Transistorschaltung — also am Meßinstrument — wieder die gleiche Spannung wie zuvor liegt. Dieser Vorgang spielt sich vollkommen trägheitslos ab, so daß eine Spannungsänderung am Ausgang nicht feststellbar ist. Der obere Transistor wirkt gewissermaßen wie ein veränderlicher Widerstand, der automatisch stets so eingeregelt wird, daß am Ausgang eine gleichbleibende Spannung entsteht.


100kΩ
330kΩ
10kΩ
2,2kΩ
1,5kΩ
100kΩ
4,7kΩ
−
+

Regelung der Ausgangsspannung bei einem transistorisierten Spannungskonstanthalter

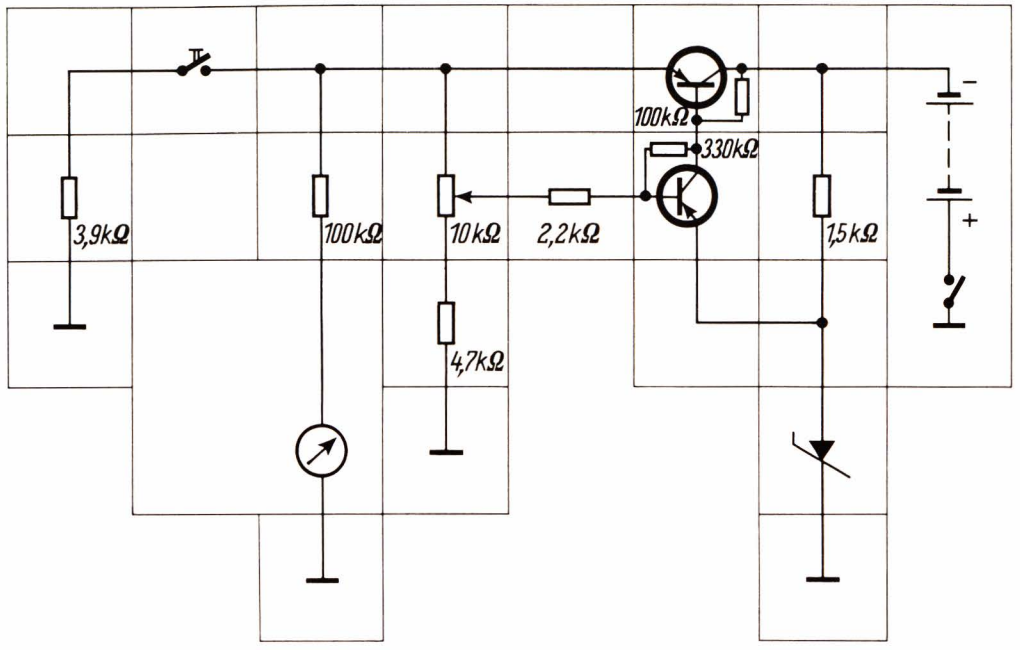
In der vorigen Schaltung wurde die Basisspannung für den unteren Transistor über den 2,2 kΩ Widerstand direkt am Ausgang der Stabilisierungsschaltung abgenommen. Die Ausgangsspannung ist damit allein von der Nennspannung der Zenerdiode abhängig. Mit geringfügigen Änderungen läßt sich mit einer elektronischen Schaltung aber auch eine regelbare Ausgangsspannung erzielen. In diesem Versuch wird auf den Spannungsteiler parallel zur Batterie verzichtet, denn daß die Ausgangsspannung unabhängig von der Eingangsspannung ist, wurde ja im letzten Versuch schon gezeigt. Der Potentiometerbaustein wird statt dessen in Reihe mit dem 4,7 kΩ Widerstand am Ausgang der Schaltung angeordnet. Die Basis des Transistors erhält nunmehr also über den Schleifer des Potentiometers und einen Schutzwiderstand von 1,5 kΩ eine regelbare Steuerspannung zugeführt. Durch Drehen am Potentiometerknopf läßt sich nunmehr die Ausgangsspannung zwischen etwa 2,5 V und 7 V verändern. Die jeweils eingestellte Ausgangsspannung ist dabei immer noch unabhängig von der am Eingang angelegten Betriebsspannung, wobei letztere auf jeden Fall höher als die gewünschte Ausgangsspannung sein muß.

Bereits mit dem Versuch 30 wurde eine Möglichkeit gezeigt, wie man die vorhandene Spannung — in diesem Falle die Batteriespannung — stufenlos regeln kann. Dort lag einfach das Potentiometer parallel zur Batterie; die gewünschte Teilspannung wurde am Schleifer des Potentiometers abgenommen. Die Schaltung ist jedoch stark belastungsabhängig. Legt man bei einer eingestellten Spannung parallel zum Meßkreis noch einen weiteren Widerstand als Belastung, dann ändert sich die abgegriffene Spannung beträchtlich, und zwar um so mehr, je niederohmiger der Belastungswiderstand wird. Bei der über eine elektronische Stabilisierungsschaltung eingestellten Ausgangsspannung nach Versuchsschaltbild 84 ist das jedoch nicht der Fall.

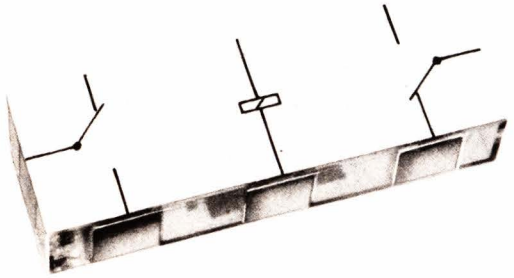


Nachweis der Belastungsunabhängigkeit eines transistorisierten Spannungskonstanthalters

Die Stabilisierungsschaltung entspricht dem Aufbau des vorigen Versuches. Parallel zum Ausgang ist jedoch über einen weiteren Abzweigungsbaustein und einen Tastenschalter ein Belastungswiderstand von 3,9 kΩ angeordnet. Stellt man eine beliebige Ausgangsspannung am Potentiometer ein, so wird man beim Drücken des Tastenschalters — also bei plötzlicher Belastung des Ausgangskreises — kaum eine Änderung der Instrumentenanzeige feststellen können. Das gilt auch für jede andere eingestellte Spannung. Elektronische Stabilisierungsschaltungen der untersuchten Art sind demnach unabhängig von der Eingangsspannung und von der Belastung; sie ermöglichen außerdem eine stufenlose Regelung der Ausgangsspannung. In verbesserter und leistungsfähiger Form finden derartige Stabilisierungsschaltungen mit Transistoren ein weites Anwendungsgebiet, einmal als Stromversorgungseinheiten für Geräte — vor allem Meßgeräte — und andererseits als regelbare Spannungsquellen für Laborzwecke, wenn neue Schaltungen untersucht werden sollen.



Der Relaisbaustein



Ein Relais ist im Prinzip ein Schalter, der nicht von Hand betätigt wird, sondern durch elektrischen Strom. Es besteht im wesentlichen aus einer Spule mit Eisenkern, vor dem ein Eisenplättchen — der Anker — angeordnet ist. Läßt man über die Spule einen Strom fließen, dann wird der Eisenkern magnetisch und zieht den davorliegenden, durch Federkraft zurückgehaltenen Anker an. Durch die dabei entstehende Bewegung können Kontakte betätigt werden. Schaltet man den Spulenstrom aus, dann gehen der Anker und die Kontakte in ihre Ruhelage zurück.

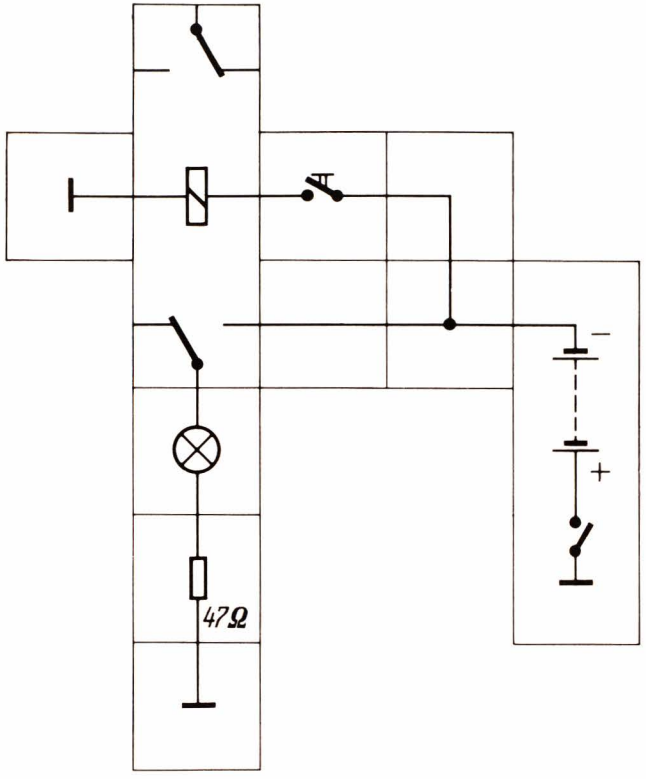
Das Relais bietet den Vorteil, daß der zu schaltende Stromkreis (die Kontakte) von dem Stromkreis, durch den die Spule geschaltet wird, elektrisch getrennt sein kann. Daher können auch die Spannungen in den beiden Stromkreisen unterschiedlich sein. So könnte man zum Beispiel mit den Kontakten des Relais eine Wechselspannung von 50 V schalten, die Spule aber mit einer Gleichspannung von 6 V betreiben. Die Spannungen würden sich nicht gegenseitig beeinflussen, da Spule und Kontakte voneinander getrennt sind.

Ein weiterer Vorteil des Relais ist es, daß für die Betätigung der Kontakte eine sehr viel geringere elektrische Leistung aufgebracht werden muß, als durch die Kontakte geschaltet werden kann. Das Relais besitzt damit in gewissem Sinne auch eine verstärkende Eigenschaft. Schließlich lassen sich mit einem Relais durch eine einzige Spule, also einen Stromkreis, auch mehrere verschiedene Kontakte gleichzeitig betätigen, die sämtlich elektrisch voneinander getrennt sein können. Durch Schalten eines Stromkreises kann man also mehrere voneinander unabhängige Stromkreise schließen und öffnen.

Ein Relaiskontakt kann grundsätzlich als Ruhe- oder als Arbeitskontakt ausgeführt sein. Der Arbeitskontakt schließt seinen Stromkreis dann, wenn die Relaisspule vom Strom durchflossen wird. Der Ruhekontakt dagegen ist im stromlosen Zustand geschlossen; schließt man den Stromkreis für die Spule, dann öffnet der Ruhekontakt. Es können auch ein Arbeits- und ein Ruhekontakt kombiniert sein. Man erhält dann einen Umschaltkontakt, der je nach dem Betriebszustand des Relais entweder den einen oder den anderen Stromkreis schließt. Die folgenden Versuche lassen die Wirkungsweise eines Relais erkennen. Der Baustein enthält ein Relais mit zwei Umschaltkontakten, die auf dem Deckelschaltbild in der Ruhestellung — also im stromlosen Zustand der Relaisspule — dargestellt sind.

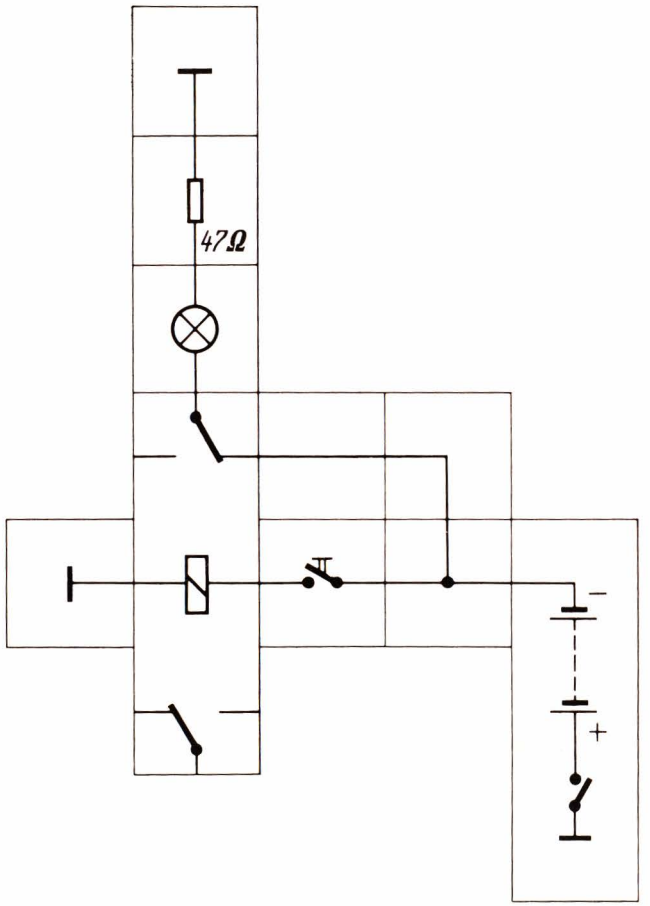
Relaissteuerung mit Arbeitskontakt

Dieser Versuch zeigt zunächst die Wirkung des Arbeitskontaktes bei einem Relais. Über den Tastenschalter mit Arbeitskontakt ist die Relaisspule an die Batterie angeschlossen. Der Stromkreis für die Glühlampe ist über einen Arbeitskontakt des Relais geführt. Schaltet man die Batterie ein, dann brennt die Glühlampe nicht. Beim Niederdrücken des Tastenschalters fließt über die Relaisspule ein Strom, und das Relais zieht an. Man hört dabei ein leises Klicken. Gleichzeitig wird über den Relaiskontakt der Lampenstromkreis geschlossen, und die Lampe leuchtet auf. Läßt man die Taste wieder los, dann fällt das Relais ab, und die Lampe verlischt.


47Ω
A
+
−

Relaissteuerung mit Ruhekontakt

Der Schaltungsaufbau für diesen Versuch ist dem vorigen sehr ähnlich. Der Stromkreis für die Glühlampe wird hier lediglich über einen Ruhekontakt des Relais geführt. Die Glühlampe wird daher aufleuchten, sobald man die Batterie einschaltet. Das Drücken des Tastenschalters hat wieder ein Anziehen des Relais zur Folge, wobei der Ruhekontakt öffnet. Damit wird der Lampenstromkreis unterbrochen, und die Lampe erlischt.



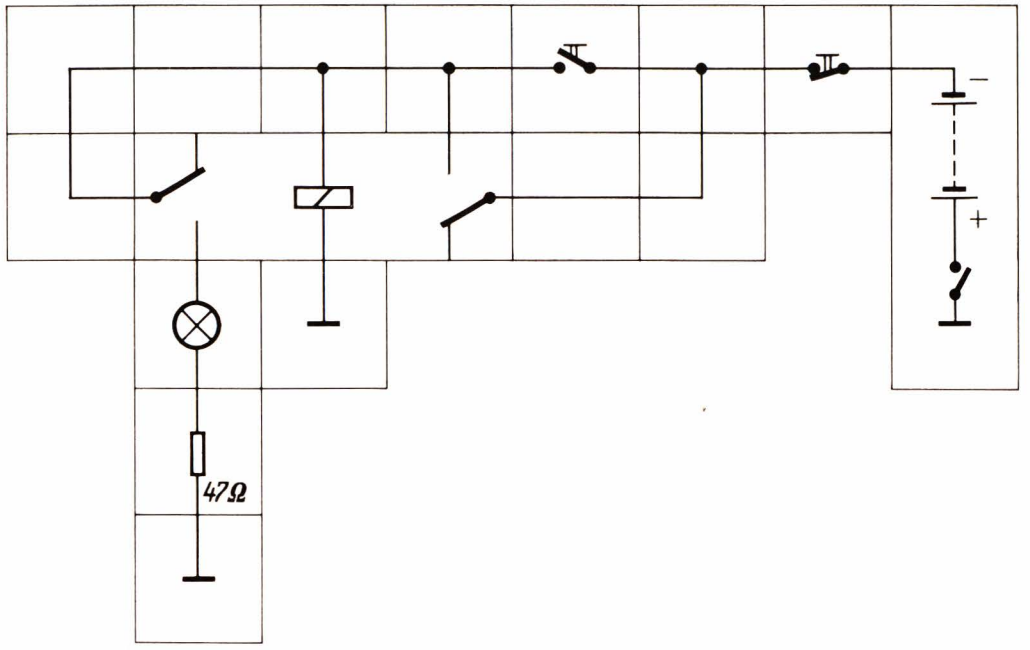
Relaissteuerung mit Selbsthaltung

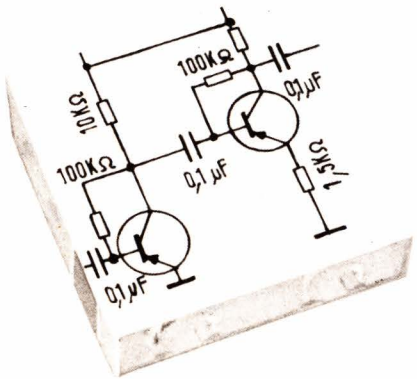
Mit Relais lassen sich nicht nur einfache Schaltaufgaben lösen, wie sie in den beiden vorigen Versuchen gezeigt wurden. Man kann durch geeignete Schaltungen beispielsweise auch eine sogenannte Selbsthaltung des Relais erreichen. Im vorliegenden Versuch wird das Relais so geschaltet, daß es beim Drücken einer Taste anzieht und dann auch angezogen bleibt, wenn man diese Taste wieder losläßt. Erst beim Drükken einer anderen Taste fällt das Relais wieder ab und unterbricht auch die Stromkreise, die über seine Kontakte geführt werden.

Aus dem Schaltbild ersieht man, daß der Strom zur Betätigung der Relaisspule zunächst über den Tastenschalter mit Ruhekontakt und dann über den Tastenschalter mit Arbeitskontakt — dem ein Relais-Arbeitskontakt parallel liegt — geführt wird. Über den zweiten Arbeitskontakt des Relais wird der Laststromkreis — hier durch die Glühlampe dargestellt — geführt.

Bei eingeschalteter Batterie bleibt die Schaltung erst stromlos. Betätigt man nun die Taste mit dem Arbeitskontakt, dann fließt Strom über die Relaisspule — das Relais zieht an. Damit wird auch der Stromkreis für die Glühlampe geschlossen: die Lampe leuchtet auf. Gleichzeitig schließt auch der Relaiskontakt, der parallel zu der Einschalttaste liegt. Man kann daher jetzt die Einschalttaste loslassen, ohne daß das Relais abfällt. Das Relais „hält sich selbst" über den eigenen Arbeitskontakt.

Durch Drücken der Taste mit Ruhekontakt (Ausschalttaste) wird aber der gesamte Stromkreis unterbrochen. Die Relaisspule wird stromlos, das Relais fällt ab, die Lampe verlischt. Damit ist der Ruhezustand wieder erreicht. Man findet solche Relaisschaltungen, bei denen ein Vorgang durch kurzzeitiges Drücken einer Taste eingeleitet und durch Betätigen einer zweiten Taste wieder rückgängig gemacht wird, sehr häufig in Maschinensteuerungen.





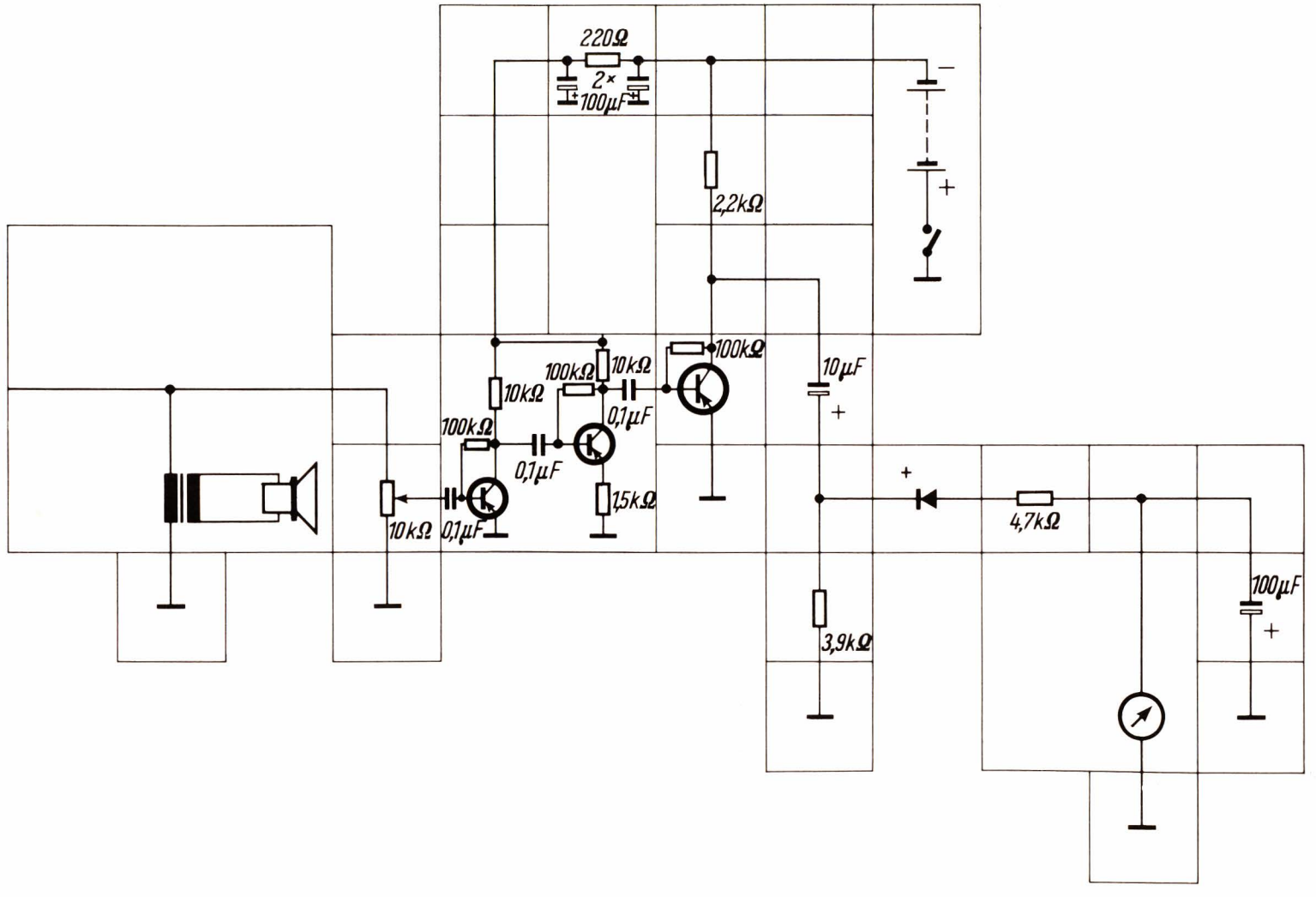
Moderne Elektronik-Schaltungen enthalten immer mehr ganze Baugruppen als vorgefertigte Einheiten. In einer solchen Baugruppe befinden sich dann in einem Gehäuse oder einem vergossenen Block eine ganze Anzahl von einzelnen Bauelementen, die bereits miteinander verdrahtet sind und so eine ganz bestimmte Funktion erfüllen können. Für den Konstrukteur, der sich mit der Entwicklung von elektronischen Geräten befaßt, bedeutet es eine wesentliche Vereinfachung seiner Arbeit, wenn er derartige komplette Einheiten verwenden kann. Auch sind solche Baugruppen vielfach billiger und raumsparender als der entsprechende Aufbau aus einzelnen Teilen.

Einige Bausteine des vorliegenden Experimentiersystems mit mehreren Bauelementen sind uns schon bekannt, so zum Beispiel das Entkopplungsglied. Im Aufbaukasten 2 ist ein Baustein enthalten, in dem gleich ein kompletter zweistufiger Verstärker untergebracht ist. Hierzu gehören zwei Transistoren, fünf Widerstände und drei Koppelkondensatoren von je 0,1 µF. Die Teile sind untereinander verdrahtet, so daß man als Anschlüsse nur noch den Ein- und den Ausgang für das zu verstärkende Signal, die Masseverbindung und die Zuführung der Batteriespannung vorfindet. Für die beiden letzten in diesem Experimentierbuch beschriebenen Versuche wird der Verstärkerbaustein verwendet. Er ermöglicht hier und vor allem auch bei den Schaltungen, die mit den weiteren Aufbaukästen zusammenzusetzen sind, eine weitgehende Vereinfachung des Schaltungsaufbaues.

Die Verwendung des Lautsprechers als Schallaufnehmer

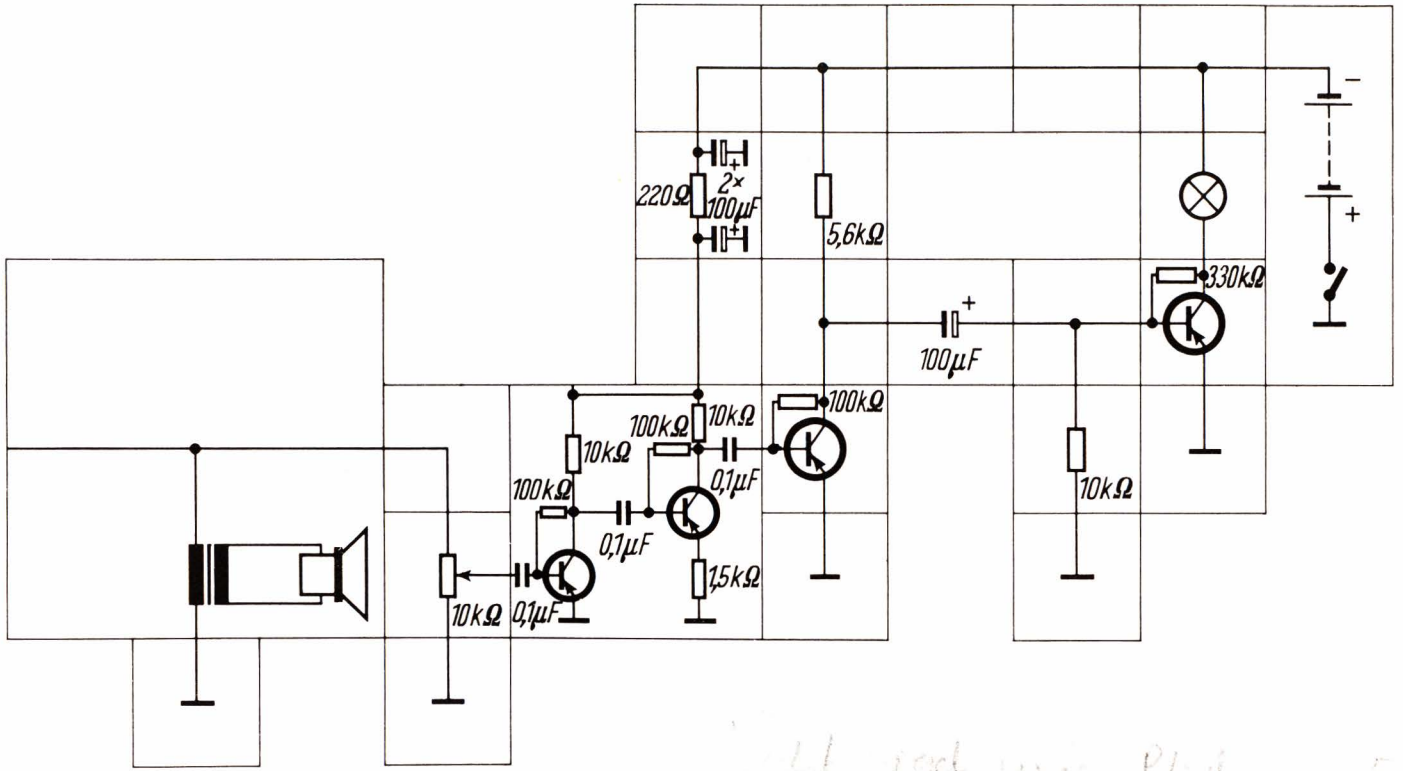
Im Versuch 39 wurde der Aufbau eines Lautsprechers schon erklärt. Durch Anlegen einer Wechselspannung an die sogenannte Schwingspule wurde die Lautsprechermembran und damit die umgebende Luft in Schwingungen versetzt. Es ist nun ohne weiteres möglich, diesen Vorgang umzukehren. Führt man der Lautsprechermembran Schallschwingungen zu, dann bewegt sie sich im Takte der Schallwellen. Dabei wird in der Schwingspule eine Spannung erzeugt. Die gewonnene Wechselspannung ist natürlich sehr gering. Will man sie messen oder etwas damit ansteuern, dann muß man sie entsprechend verstärken.

Der Lautsprecherbaustein ist als „elektroakustischer Wandler" am Eingang der Schaltung angeordnet. Die beim Auftreffen von Schallwellen erzeugte Wechselspannung gelangt zunächst auf das 10 kΩ Potentiometer. Die am Schleifer des Potentiometers abgegriffene Spannung wird dem Eingang des Verstärkerbausteins zugeführt und dort in zwei Transistorstufen verstärkt. Sodann erfolgt eine nochmalige Verstärkung durch einen weiteren Transistor. Die Auskopplung der verstärkten Wechselspannung am Kollektor der Endstufe entspricht der in früheren Versuchen aufgebauten Schaltung (Versuche 44 bis 47). Über einen Elko von 10 µF wird die Wechselspannung von der Kollektorgleichspannung (Batteriespannung) getrennt. Nach Gleichrichtung durch die Diode erreicht sie das Anzeigeinstrument und verursacht dort einen Zeigerausschlag. Die Batteriespannung ist dem zweistufigen Verstärkerbaustein über das Entkopplungsglied zugeführt, um Rückkopplungen zu vermeiden. Bei eingeschalteter Batterie wird das Instrument kräftig ausschlagen, wenn man vor dem Lautsprecher ein Geräusch erzeugt. Je stärker das Geräusch, um so weiter der Zeigerausschlag. Die Empfindlichkeit läßt sich dabei mit dem Potentiometer am Eingang regeln. Mit der Schaltung 89 kann man somit genau die Schallstärke — der Fachmann sagt hierzu Schallpegel oder Geräuschpegel — an einem bestimmten Ort messen. Solche Messungen werden in der Praxis beispielsweise notwendig, wenn der von einer Maschine erzeugte Lärm untersucht und durch geeignete Maßnahmen verringert werden soll.


220Ω
2×
100µF
2,2kΩ
100kΩ
10kΩ
100kΩ
10kΩ
0,1µF
100kΩ
0,1µF
1,5kΩ
10kΩ
0,1µF
10µF
4,7kΩ
3,9kΩ
100µF

Geräuschwarnanlage mit Lichtanzeige

Bis zum dritten Transistor entspricht diese Schaltung fast genau dem Versuch 89. Der Kollektorwiderstand in der dritten Stufe beträgt hier 5,6 kΩ. Über einen Elko von 100 μF wird die verstärkte Wechselspannung nun noch einem weiteren Transistor zugeführt. Der Eingang dieses letzten Transistors wird bei großen Signalen schon erheblich übersteuert, wodurch in Verbindung mit dem nach Masse führenden 10 kΩ Widerstand eine Gleichrichtung direkt im Transistor stattfindet. Der Transistor wird damit leitend und der fließende Kollektorstrom bringt die Glühlampe zum Aufleuchten. Mit dem Potentiometer am Schaltungseingang wird die Anlage zunächst im ruhigen Raum so eingestellt, daß die Glühlampe noch nicht aufleuchtet. Tritt jetzt ein Geräusch auf (Sprechen, Schritte im Zimmer und dergleichen), dann leuchtet die Lampe auf. Man kann also diese Schaltung zum Beispiel als Einbruchs-Warnanlage verwenden.


220Ω
2×
100µF
5,6kΩ
330kΩ
100µF
100kΩ
10kΩ
100kΩ
10kΩ
0,1µF
100kΩ
0,1µF
1,5kΩ
10kΩ
10kΩ
0,1µF

E 15

Die Prüfung der Bausteine auf richtige Funktion

Die einzelnen im Experimentierkasten enthaltenen Bauteile werden vor der Auslieferung sorgfältig geprüft. Hält man sich beim Aufbau und der Durchführung der Versuche genau an die Hinweise des Anleitungsbuches, dann können normalerweise keine Schäden an den Bausteinen auftreten. Um aber trotzdem einen möglichen Fehler feststellen zu können (der beispielsweise von einem versehentlich falschen Versuchsaufbau oder durch zu langen Betrieb bei den Grenzwerten herrühren kann), sollen im Anschluß an die eigentlichen Versuchsschaltungen noch Möglichkeiten zur Prüfung der Bausteine angegeben werden.

Die grundsätzlich richtige Arbeitsweise der Batterie läßt sich in der Versuchsschaltung 21 sehen. Brennt die Glühlampe bei eingeschalteter Batterie, dann hat diese auf jeden Fall noch eine ausreichende Spannung. Außerdem bildet dieser Aufbau gleichzeitig eine Kontrollmöglichkeit für die Glühlampe. Hat man auf diese Weise erst einmal die Funktionstüchtigkeit der Batterie erkannt, dann kann die Kontrolle auf richtige Spannung erfolgen. Hierzu dient das Versuchsschaltbild 24. Verhalten sich Batterie, Glühlampe und Anzeigeinstrument bei den Versuchen 21 und 24 so, wie es in dem zugehörigen Text beschrieben ist, dann sind diese Bauelemente in Ordnung und können für die Prüfung der weiteren Bauelemente benutzt werden.

Besonders empfindlich gegen Überlastung und falsche Anwendung sind die Halbleiter-Bausteine. An erster Stelle steht hier wieder der Transistor. Eine ganz einfache, für die grundsätzliche Prüfung auf richtige Arbeitsweise des Transistors ausreichende Methode gewinnt man, wenn man sich den Transistor aus zwei Dioden zusammengesetzt vorstellt. In seinem Aufbau entspricht der Transistor auch tatsächlich diesem Vergleich. Die beiden Dioden werden durch die Emitter- und Basis-Strecke und die Kollektor-Basis-Strecke gebildet. Man kann nun diese Dioden getrennt untersuchen, wobei sie sich wie zwei gewöhnliche Dioden entsprechend den Versuchen 36 und 37 verhalten müssen. Es muß also je eine Sperr- und eine Durchlaßrichtung vorhanden sein. Man erhält so vier verschiedene Schaltungen des Transistors, die in den Schaltbildern 90 a bis d dargestellt sind. Je eine Diodenstrecke des Transistors ist dabei in Sperr- oder Durchlaßrichtung in einem Stromkreis angeordnet. Die übrigbleibende Diodenstrecke bleibt dabei offen. Zur Prüfung wird das Anzeigeinstrument in Reihe mit einem 100 kΩ Widerstand benutzt. Parallel zu diesem Meßkreis liegt noch ein Nebenwiderstand von 3,9 kΩ als Belastung. Schließt man den zu prüfenden Transistor nach den Schaltbildern 90 a und 90 b an, dann darf das Instrument keinen Ausschlag zeigen. Beim Anschluß nach den Schaltbildern 90 c und 90 d dagegen muß der Zeiger etwa bis zum Skalenwert 9 ausschlagen. Verhält sich der Transistor in allen vier Prüfschaltungen nach diesen Regeln, dann weiß man zwar noch nichts über die Verstärkung und sonstigen Eigenschaften des Transistors, kann aber sagen, daß er grundsätzlich in Ordnung ist. Weicht das Meßergebnis in einer oder gar mehreren Schaltungen von den obengenannten Bedingungen ab, dann ist der Transistor auf jeden Fall defekt und nicht mehr zu gebrauchen.

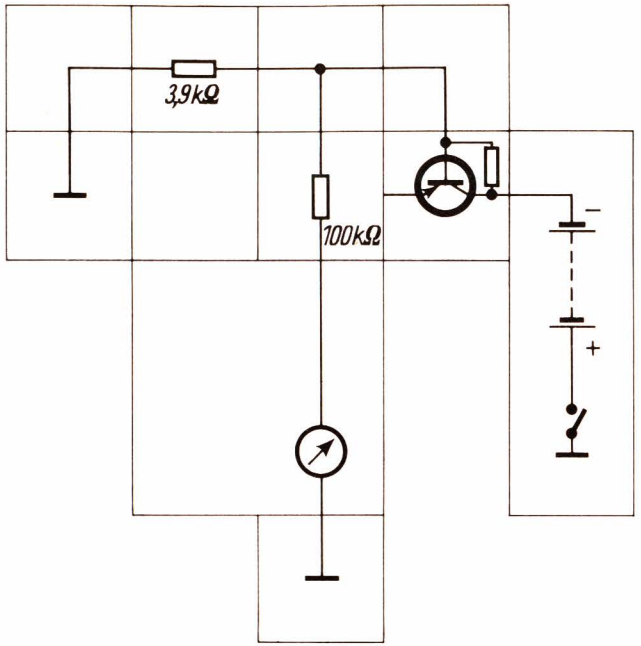
Für die Prüfung der übrigen Bausteine des Systems kann man jeweils eine der grundlegenden Versuchsschaltungen hernehmen, wobei man zweckmäßig eine Schaltung auswählt, in der außer dem zu prüfenden Teil nur noch möglichst wenige andere Bausteine enthalten sind.

So können die Dioden in den Schaltungen 36 und 37 auf richtiges Sperr- und Durchlaßverhalten kontrolliert werden. Für die Zenerdiode gilt das allerdings nicht. Diese prüft man am besten in der Schaltung 82 auf ihr richtiges Verhalten.

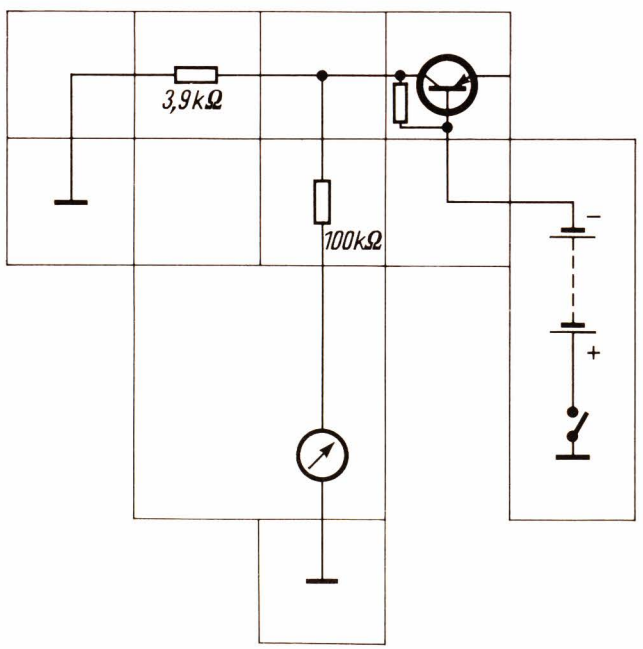
Für den Photowiderstand und den Heißleiter gelten die grundsätzlichen Versuche 59 und 60 gleichzeitig als Prüfschaltungen. Widerstände prüft man einfach nach Schaltbild 26 oder 27, wobei der zu untersuchende Widerstand an die Stelle des einen 100 kΩ Widerstandes gerückt wird. Schlägt das Instrument aus, dann hat der Widerstand auf jeden Fall noch Durchgang. Das gleiche gilt für den Spulenbaustein, für den die Versuchsschaltung 35 zur Kontrolle auf gleichstrommäßigen Durchgang benutzt werden kann. Bei Kondensatoren bilden die Versuchsschaltbilder 31 bis 34 eine ausreichende Möglichkeit zur Kontrolle. Verhalten sich die Bausteine so, wie im Text angegeben, dann sind sie in Ordnung. Der Drehkondensator darf nach Schaltung 31 ebenfalls in keiner Stellung des Drehknopfes Durchgang zeigen.

Bestehen Zweifel an der einwandfreien Kontaktgabe eines Tastenschalters, so fügt man ihn am besten an irgend einer Stelle des Stromkreises in die Schaltung 21 ein. Die Lampe muß dann beim Drücken der Taste aufleuchten. Auch für fragwürdige Verbindungsbausteine kann man diese Methode anwenden.

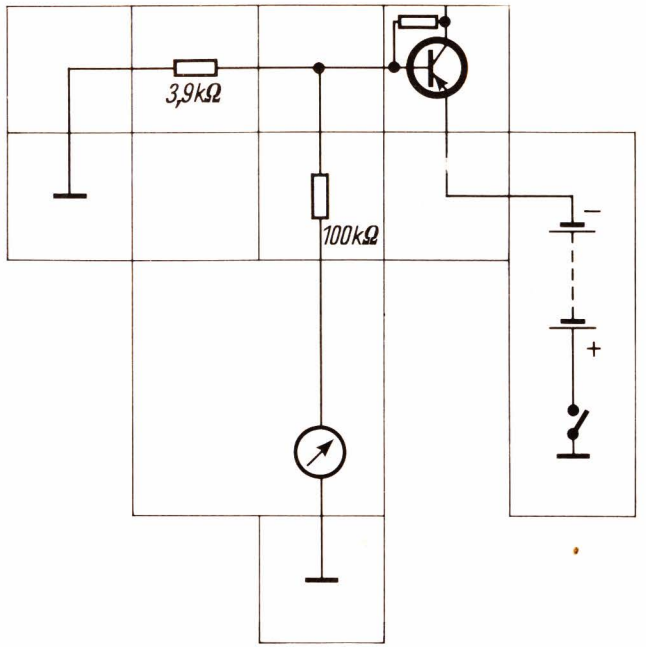
Experiment 90a



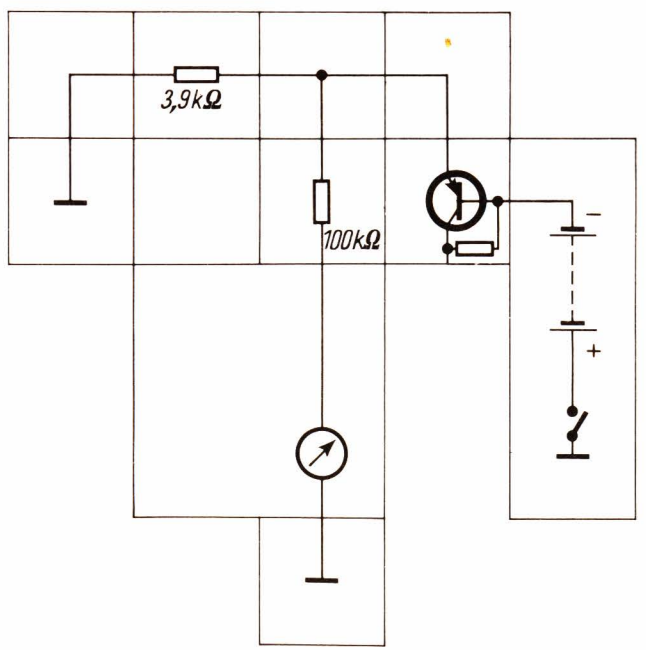
Experiment 90c



Experiment 90b



Experiment 90d



Mit den gewonnenen Erkenntnissen zu neuen Experimenten

Die Schaltung 90 zeigt den letzten in diesem Experimentierbuch beschriebenen Versuch. Sämtliche im Grundkasten und in den Aufbaukästen 1 und 2 enthaltenen Bausteine sind verwendet und in ihrer Wirkungsweise erklärt worden.
Wer alle Versuche durchgeführt und den dazugehörigen Text aufmerksam gelesen hat, für den wird der Begriff „Elektronik" jetzt sicher kein Geheimnis mehr sein. Mit etwas Überlegung lassen sich mit den vorhandenen Bausteinen durch Verändern der Schaltungen noch eine ganze Reihe anderer Versuche aufbauen.

Die LECTRON-Versuchsreihe wird laufend erweitert. Zur Zeit (November 1972) sind Lectronsysteme für folgende Themen lieferbar:
Elektronik I-III, Elektrizitätslehre I-II, Kybernetik I-II, Computertechnik, Schaltalgebra, Leistungselektronik.
Alle Lectron Bausteine sind auch einzeln in regionalen Lectron Depots erhältlich. Wenn Sie Informationen hierüber wünschen, schreiben Sie bitte an Lectron-Gesellschaft mbH, 6 Frankfurt/Main, Rüsselsheimer Str. 22. Postfach 190 269.